

Vysoká škola báňská – Technická univerzita

Fakulta strojní

Katedra robotiky

**Orientační ústrojí manipulačního subsystému
pyrotechnického robotu**

***Orientation Mechanism of Pyrotechnic Robot Handling
Subsystem***

Bakalářská práce

Student:

Michal Kvita

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Lipina

Ostrava, 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Kvita**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Specializace: 70 Robotika
Téma: **Orientační ústrojí manipulačního subsystému pyrotechnického robotu**
Orientation Mechanism of Pyrotechnic Robot Handling Subsystem

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu orientačních ústrojí manipulačních subsystémů pyrotechnických robotů. Seznamte se s problematikou pyrotechnických robotů.
2. Navrhněte varianty řešení orientačního ústrojí pyrotechnického robotu.
3. Hodnotovou analýzou vyberte optimální variantu.
4. Vybranou variantu zpracujte ve formě technického řešení. Doložte potřebnými výpočty a výkresem sestavy.
5. Proveďte zhodnocení navržené varianty.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online]

Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/>](http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/)

KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*.

Ostrava: VŠB v Ostravě, 2004. 86s. ISBN 80-248-0514-6.

SKAŘUPA, Jiří. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování*.

1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0.

SKAŘUPA, Jiří; MOSTÝN, Vladimír. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*.

1. vyd. Košice: Edice vědecké a odborné literatury – Strojní fakulta TU v Košicích, 2002. s 190.

ISBN 80-88622-55-0

SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*.

Ostrava: VŠB v Ostravě, 2007. 260s, ISBN 978-80-248-1522-0.

SKAŘUPA, Jiří. *Metodika konstruování*.

1. vyd. Ostrava: VŠB v Ostravě, 1993. 149s. Fakulta strojní. ISBN 80-7078-167-X.

SKAŘUPA, Jiří; ZELINA, Pavol. *Navrhování a výpočty efektorů PRaM*

1. vyd. Ostrava: VŠB v Ostravě, 1996. 102s. ISBN 80-7078-304-4

KÁRNÍK, Ladislav. *Servisní roboty* 1. vyd. Ostrava: VŠB v Ostravě, 2004. 144s. ISBN 80-248-0626-6.

LIPINA, Jan. *Bakalářská práce*. Ostrava 2008, 63s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Lipina**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě :.....

.....

Michal Kvita

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....
Michal Kvita

Anotace bakalářské práce

KVITA, M. Orientační ústrojí manipulačního subsystému pyrotechnického robotu, Ostrava: Katedra robototechniky - 354, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 58s. Bakalářská práce, vedoucí: Ing. Jan Lipina.

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí orientačního ústrojí se dvěma stupni volnosti pro efektor pyrotechnického robotu. Orientační ústrojí je navrženo tak, aby pohonné jednotky nevyčnívaly přes vnější rozměry efektoru, a tedy nezasahovaly do manipulovatelných předmětů a okolí.

Pohonná jednotka zajišťující rotaci objektu manipulace je sestavena ze stejných komponentů jako pohonná jednotka zajišťující naklápění objektu manipulace. Obě jednotky jsou umístěny vně orientačního ústrojí.

Modelová a výkresová dokumentace je zpracována v programech Pro ENGINEER a AutoCAD.

Annotation of Thesis

KVITA, M. Orientation Mechanism of Pyrotechnic Robot Handling Subsystem, Ostrava: Department of Robotics - 354, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2011, 58 s. Thesis, head: Ing. Jan Lipina.

This thesis describes the construction of orientation mechanism with two degrees of freedom for pyrotechnic robot. The approximate system is designed to power the unit protrude through the outer dimensions of the effector, and thus do not interfere with manipulable objects and surroundings.

Power unit that ensures rotation of the object manipulation is composed of the same components as the power unit providing tilting object manipulation. Both units are located outside the Guidance system.

Models and drawings are prepared in programs of Pro Engineer and AutoCAD.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ.....	7
1. ÚVOD	11
2. PYROTECHNICKÝ ROBOT.....	12
2.1 ROZDÍL MEZI PYROTECHNICKÝM ROBOTEM A PYROTECHNIKEM ..	12
2.2 SKLADBA PYROTECHNICKÉHO ROBOTU	12
2.2.1 Lokomoční ústrojí.....	13
2.2.2 Manipulační subsystém.....	14
2.2.3 Orientační ústrojí	15
2.2.4 Efektor	17
2.2.5 Příslušenství	18
2.2.6 Napájení a ovládání.....	20
2.3 DOPRAVA.....	21
2.4 RŮZNÉ KONSTRUKCE PYROTECHNICKÝCH ROBOTŮ	23
2.4.1 Robot tEODor	23
2.4.2 Robot IBIS.....	24
2.4.3 Robot 510 PackBot	25
3. POŽADAVKOVÝ LIST	26
4. NÁVRHY ŘEŠENÍ.....	26
4.1.1 Varianta A.....	27
4.1.2 Varianta B.....	28
4.1.3 Varianta C.....	29
4.2 HODNOTOVÁ ANALÝZA	30
4.2.1 Hodnotící kritéria	31
4.2.2 Vyhodnocení významnosti kritérií.....	31
4.2.3 Graf závislost váhy významnosti na počtu voleb v.....	32
4.2.4 Rozsah hodnot kritérií a Významnost kritérií.....	32
4.2.5 Vyhodnocení kritérií jednotlivých variant	33
4.2.6 Vyhodnocení hodnotové analýzy	34
5. NEJOPTIMÁLNĚJŠÍ VARIANTA OÚ VYBRANÁ POMOCÍ HODNOTOVÉ ANALÝZY	35

6.	NÁVRHOVÉ VÝPOČTY A VOLBA KOMPONENTŮ	38
6.1	ROZLOŽENÍ SIL PŘI POHYBECH	38
6.1.1	Tečná a normálová síla při rotaci	39
6.1.2	Tečná a normálová síla při naklápění	39
6.2	NÁVRH POHONNÝCH JEDNOTEK	40
6.2.1	Naklápěcí pohybová jednotka	40
6.2.2	Volba převodovky	41
6.2.3	Výpočet motoru	41
6.2.4	Rotační pohybová jednotka	43
6.2.5	Volba převodovky	43
6.2.6	Výpočet motoru	44
6.3	KONTROLA LOŽISEK NA NOSNÉ HŘÍDELI	45
6.3.1	Určení radiálních sil působících na ložiska	45
6.3.2	Určení axiálních sil působících na ložiska	46
6.3.3	Životnost ložiska	47
6.4	KONTROLA HŘÍDELÍ	48
6.4.1	Nosná hřídel	48
6.4.2	Kontrola nosné hřídele na krut	49
6.4.3	Kontrola nosné hřídele na ohyb	50
6.4.4	Propojovací hřídel v rotační pohonné jednotce	50
6.4.5	Kontrola propojovací hřídele na krut	51
6.5	KONTROLA SPOJE POMOCÍ PERA	51
6.5.1	Otlačení hřídele	52
6.5.2	Otlačení náboje	53
6.6	KONTROLA DRÁŽKOVÉHO SPOJE	53
6.6.1	Otlačení boků zubů na hřídeli a rovněž v náboji	54
7.	ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ	56
8.	POUŽITÁ LITERATURA	57
9.	SEZNAM PŘÍLOH	59

Seznam použitého značení

Označení	Význam označení	Jednotka
C_A	dynamická únosnost ložiska A	[kN]
C_B	dynamická únosnost ložiska B	[kN]
D_1	velký průměr drážkovaného náboje	[mm]
$F_{EF,OM}$	síla vyvinuta efektořem a objektem manipulace při pohybu	[N]
F_H	síla působící na nosnou hřídel ($F_P + F_{EF,OM}$)	[N]
F_P	síla vyvinuta pohyblivou částí	[N]
F_{RA}	radiální síla působící na ložisko A (6008)	[N]
F_{RB}	radiální síla působící na ložisko B (6207)	[N]
F_{ax}	axiální síla působící na jednotlivá ložiska	[N]
F_{nN}	normálová síla vzniklá při naklápění	[N]
F_{nR}	normálová síla vzniklá při rotaci	[N]
F_{tN}	tečná síla vzniklá při naklápění	[N]
F_{tR}	tečná síla vzniklá při rotaci	[N]
F_1	síla působící na bok drážky pro pero ve spojce GE-T	[N]
F_2	síla působící na bok drážky pro pero na nosné hřídeli	[N]
F_3	síla působící na bok zub na hřídeli, náboji drážkového spoje	[N]
J_M	moment setrvačnosti motoru EC 90 flat	[kg·m ²]
$J_{M \rightarrow P\check{r}}$	redukovaný moment setrvačnosti z motoru na výstup převodovky	[kg·m ²]
$J_{P\check{r}}$	moment setrvačnosti harmonické převodovky CSG-20-160-2UH	[kg·m ²]
J_{SN}	moment setrvačnosti sestavy při naklápění	[kg·m ²]
J_{SR}	moment setrvačnosti sestavy při rotaci	[kg·m ²]
J_{cN}	celkový moment setrvačnosti při naklápění	[kg·m ²]
J_{cR}	celkový moment setrvačnosti při rotaci	[kg·m ²]
L_{10A}	základní trvanlivost ložiska A (6008)	[ot]
L_{10B}	základní trvanlivost ložiska B (6207)	[ot]
L_{10hA}	základní trvanlivost ložiska A (6008)	[hod]
L_{10hB}	základní trvanlivost ložiska B (6207)	[hod]
$Mk2_N$	krouticí moment při naklápění získaný z programu Pro Engineer	[Nm]
$Mk2_R$	krouticí moment při rotaci získaný z programu Pro Engineer	[Nm]
$Mk3$	krouticí moment OÚ vůči rameni robota	[Nm]
M_O	krouticí moment vyvolaný silou F_H	[Nm]
P_A	mezní zatížení na ložisko A (6008)	[kN]

P_B	mezní zatížení na ložisko B (6207)	[kN]
P_{D1}	dovolený tlak při otlacení hřídele (nosná hřídel)	[MPa]
P_{D2}	dovolený tlak při otlacení náboje (spojka GE-T)	[MPa]
P_{D3}	dovolený tlak při otlacení náboje, hřídele (drážkovaný spoj)	[MPa]
P_N	výkon motoru pro naklápění	[W]
P_R	výkon motoru pro rotaci	[W]
P_1	tlak při otlacení hřídele (nosná hřídel)	[MPa]
P_2	tlak při otlacení náboje (spojka GE-T)	[MPa]
P_3	tlak při otlacení náboje, hřídele (drážkovaný spoj)	[MPa]
W_{KA}	průřezový modul v krutu nosné hřídele	[mm ³]
W_{KB}	průřezový modul v krutu nosné hřídele	[mm ³]
W_{KC}	průřezový modul v krutu nosné hřídele	[mm ³]
W_{KD}	průřezový modul v krutu propojovací hřídele	[mm ³]
W_O	průřezový modul v ohybu nosné hřídele	[mm ³]
X_A	koeficient statického zatížení ložiska A (6008)	[-]
X_B	koeficient statického zatížení ložiska B (6207)	[-]
Y_A	koeficient statického zatížení ložiska A (6008)	[-]
Y_B	koeficient statického zatížení ložiska A (6207)	[-]
a_{nN}	normálové zrychlení při naklápění	[m·s ⁻²]
a_{nR}	normálové zrychlení při rotaci	[m·s ⁻²]
a_{tN}	tečné zrychlení při naklápění	[m·s ⁻²]
a_{tR}	tečné zrychlení při rotaci	[m·s ⁻²]
b	šířka pera	[mm]
d_{1-6}	průměry nosné hřídele	[mm]
d_7	průměr propojovací hřídele	[mm]
d_8	průměr propojovací hřídele	[mm]
d_9	malý průměr drážkovaného náboje	[mm]
f	sražení hran zubů drážkového spoje	[mm]
f'	účinná plocha boku drážek drážkového spoje	[mm]
i_{PfN}	převodový poměr převodovky pro naklápění	[-]
i_{PfR}	převodový poměr převodovky pro rotaci	[-]
l_D	délka drážkového spoje	[mm]
l_N	délka, na kterém rotuje zátěž při pohybu naklápění	[mm]
l_p	délka pera	[mm]

l_R	délka, na kterém rotuje zátěž při pohybu rotace	[mm]
l'	délka pera zajišťující dotyk	[mm]
t_N	doba pro zrychlení při naklápění	[s]
t_R	doba pro zrychlení při rotaci	[s]
m	modul kuličkového ložiska	[-]
m_1	hmotnost objektu manipulace	[kg]
m_2	hmotnost efektoru	[kg]
m_3	hmotnost pohyblivé části OÚ s nosnou hřídelí	[kg]
m_4	hmotnost pohyblivé části OÚ bez nosné hřídele	[kg]
$n1_N$	počet otáček motoru pro naklápění	[ot·min ⁻¹]
$n2_N$	počet výstupních otáček pro naklápění	[ot·min ⁻¹]
$n1_R$	počet otáček motoru pro rotaci	[ot·min ⁻¹]
$n2_R$	počet výstupních otáček pro rotaci	[ot·min ⁻¹]
t	hloubka drážky pro pero v hřídeli (nosná hřídel)	[mm]
t_1	hloubka drážky pro pero v náboji (spojka GE-T)	[mm]
z	počet zubů v drážkového spoje	[-]
ε_N	úhlové zrychlení při naklápění	[rad·s ⁻²]
ε_R	úhlové zrychlení při rotaci	[rad·s ⁻²]
$\eta_{Lož}$	účinnost ložiska	[%]
$\eta_{Př}$	účinnost převodovky	[%]
η_M	účinnost motoru	[%]
η_{cN}	celková účinnost pro naklápění	[%]
η_{cR}	celková účinnost pro rotaci	[%]
τ_{DK}	dovolené napětí v krutu	[MPa]
τ_{DO}	dovolené napětí v ohybu	[MPa]
τ_{KA}	napětí v krutu v místě A	[MPa]
τ_{KB}	napětí v krutu v místě B	[MPa]
τ_{KC}	napětí v krutu v místě C	[MPa]
τ_{KD}	napětí v krutu v místě D	[MPa]
τ_O	napětí v ohybu	[MPa]
$\omega2_N$	úhlová rychlost pro naklápění	[rad·s ⁻¹]
$\omega2_R$	úhlová rychlost pro rotaci	[rad·s ⁻¹]

1. ÚVOD

Vývoj technologií v dnešní době jde neustále kupředu a to nejen za účelem pomoci lidem, ale bohužel jim i uškodit. Teroristé a lidé, kteří ohrožují naši společnost, se vždy nějakým způsobem k těmto technologiím dostanou, zejména k výbušninám. Vymýšlejí stále rafinovanější prostředky k tomu, aby byl pro ně výbuch co nejefektivnější bez ohledu na lidských životech. Proto jsou na světě firmy, které se zabývají výzkumem a vývojem pyrotechnických robotů na základě požadavků jednotlivých pyrotechnických složek po světě.

Bezesporu největší rozmach pyrotechnických robotů je ve vojenském odvětví. Důvodem jejich nasazení je ochrana pyrotechnika před nebezpečím v blízkosti výbušniny. Při využití robotu je pyrotechnik v bezpečné vzdálenosti od prováděného zásahu. Operátor ovládající robot je rovněž mimo ohrožení života. Udělá-li operátor chybu prostřednictvím robotu, může vzniknout materiální ztráta. Při neúspěšných zásazích, kdy nebývá využit pyrotechnický robot a zneškodňování výbušniny provádí pyrotechnik sám, bývá jeho zranění fatální. Ve většině případů jde o smrtelné zranění.

Požadavky na jednotlivé firmy zabývající se výrobou pyrotechnických robotů se liší z hlediska stavby robotů, konkrétního využití, různým druhem vybavení a dalšími. Poněvadž výbušniny bývají odlišných rozměrů, hmotností, velikostí výbušné energie, druhem trhaviny, místem uložení a další.

2. PYROTECHNICKÝ ROBOT

2.1 ROZDÍL MEZI PYROTECHNICKÝM ROBOTEM A PYROTECHNIKEM



Obr. 1. Pyrotechnik s pyrotechnickým robotem [12]

Robot

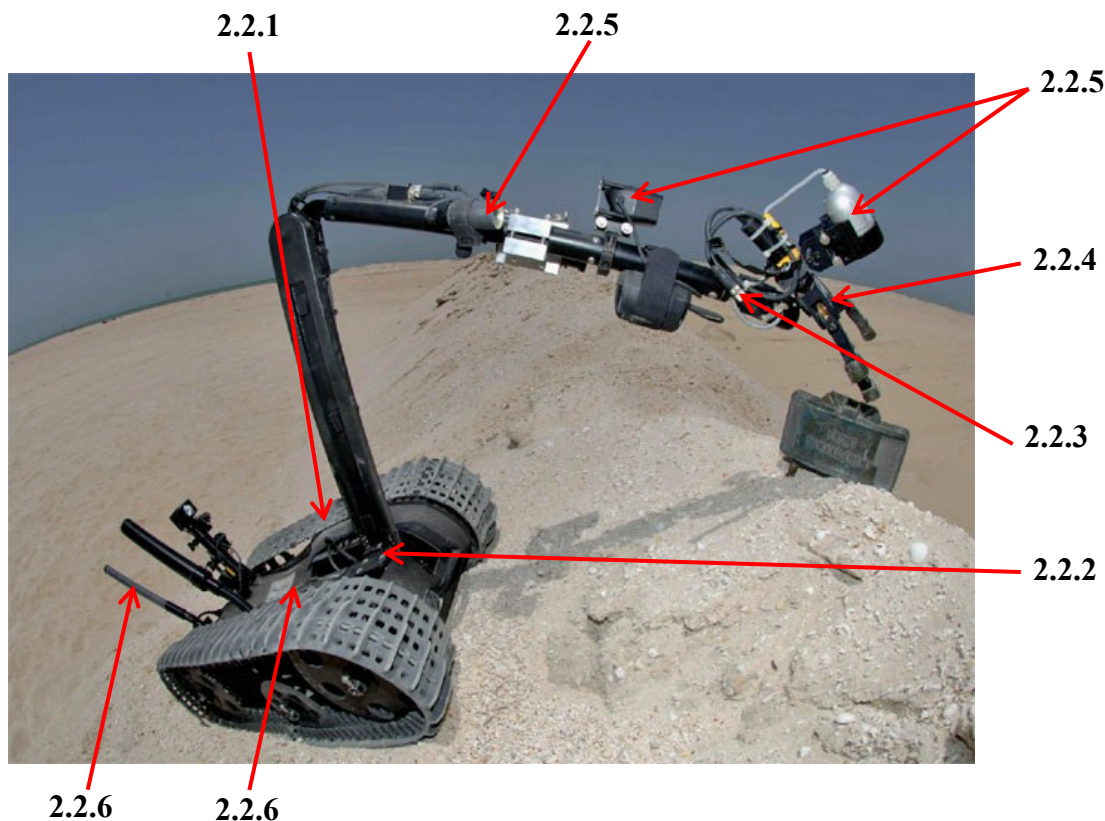
- materiální ztráta
- náhrada stejným modelem
- nevzniká pocit únavy
- nese s sebou vybavení
- necítí strach

Člověk

- ztráta na životě
- nenahraditelný
- vzniká pocit únavy
- neunesení tolik vybavení
- faktor strachu

2.2 SKLADBA PYROTECHNICKÉHO ROBOTU

Existuje velká spousta pyrotechnických robotů, lišících se například těmito kritérii: délka a počet ramen, různé vazby mezi rameny, efekторы, podvozky, způsob řízení, vybavení a mnohé další. Od ostatních servisních robotů se pyrotechničtí roboty moc neliší. Jeden z hlavních rozdílů je bezesporu koncové ústrojí pyrotechnického robotu, na které bývají kladeny velké nároky. Efektor nemusí být určen pouze k manipulaci, ale může být přímo využit ke zneškodnění výbušniny.



Obr. 2. Pyrotechnický robot [13]

2.2.1 Lokomoční ústrojí

Podvozek slouží pro pohyb robotu. V dnešní době je na trhu spousta různých druhů podvozků. Mezi dva nejpoužívanější podvozky pro roboty patří:

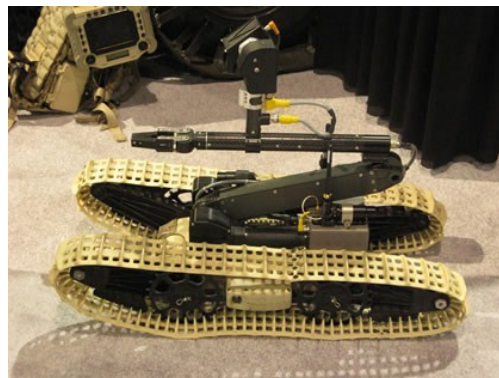
- Pásový podvozek
- Kolový podvozek

Pásový podvozek bývá složen z ocelového nebo gumového pásu. Z větší části se využívá pás gumový kvůli menší hmotnosti. Podvozek musí být vybaven dopínacím systémem, který bude napínat pás tak, aby byl při provozu neustále napnutý. Což je další parametr této koncepce. Pásový podvozek má větší průchodnost v těžkém terénu a lepší stabilitu. Nevýhoda této koncepce je, že pásový robot nedosahuje takových rychlostí jako robot s kolovým podvozkem.

Kolový podvozek má lehčí manévrovatelnost a dosahuje vyšších rychlostí oproti pásovému podvozku. U tohoto podvozku se musí počítat s rozložením hmotnosti robotu na jednotlivá kola. Kola musí být následně odpružená. Stabilita u tohoto podvozku není tak

velká jako u pásového, ale s využitím většího počtu kol (6 nebo 8) je dostačující. Rovněž lze stabilitu zvýšit za pomoci vzpěr při práci na místě.

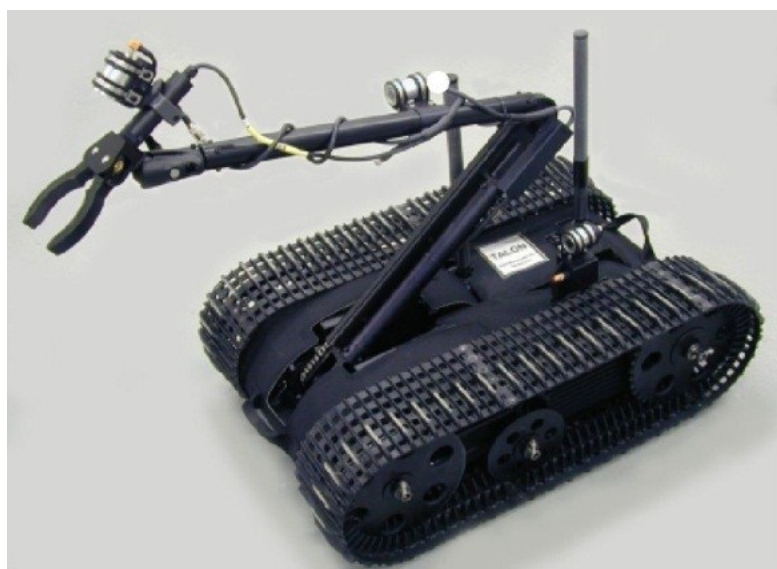
Další možností je doplnění kolového podvozku o pásový. Vznikne tak univerzální podvozek do “každého” terénu.



Obr. 3. a 4. Robot s kolovým a pásovým podvozkem [8], [14]

2.2.2 Manipulační subsystém

Manipulační subsystém býval a u některých robotů stále je umístěn pevně na části podvozku. V dnešní době bývá manipulační subsystém doplněn otočným zařízením. Jakmile je systém umístěný na otočném zařízení, pohyb ramene do stran už není řízen natočením celého robotu, nýbrž jen vytočením samotného manipulačního subsystému. Operátor tuto výhodu hlavně využívá v malých prostorách, kde otáčení celého robotu bývá pracné a v některých případech dokonce nemožné.



Obr. 5. Manipulační subsystém pevně ukotven k podvozku [11]

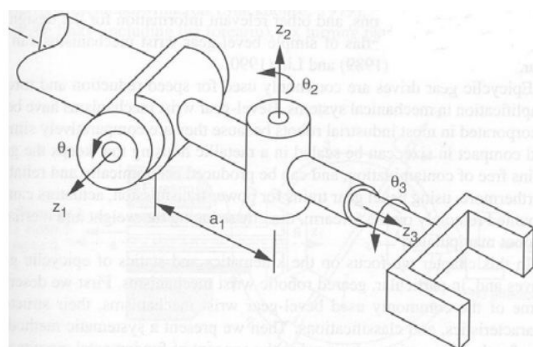
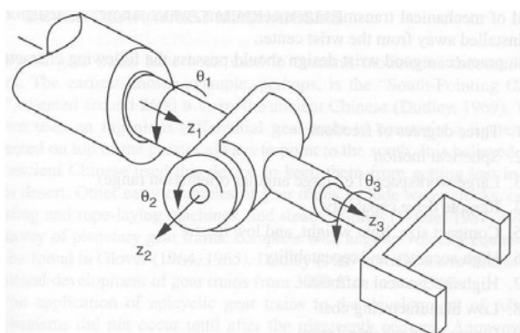


Obr. 6. Pohyblivý subsystém upevněný na podvozku [6],[7]

2.2.3 Orientační ústrojí

Orientační ústrojí ovlivňuje v podstatné míře manipulační vlastnosti robota. Za nejvhodnější řešení bývá považováno OÚ se třemi rotačními stupni volnosti, jenže se jedná o složité řešení. Orientační ústrojí je umístěno na konci ramene robota, tudíž je snaha o minimalizaci rozměrů. Tím je myšlena hmotnost, vnější rozměry a momenty setrvačnosti. [2]

Osy kloubů OÚ bývají umístěny v takových polohách, aby se protínaly v jednom bodě (sférická struktura). Tento bod se nazývá střed.



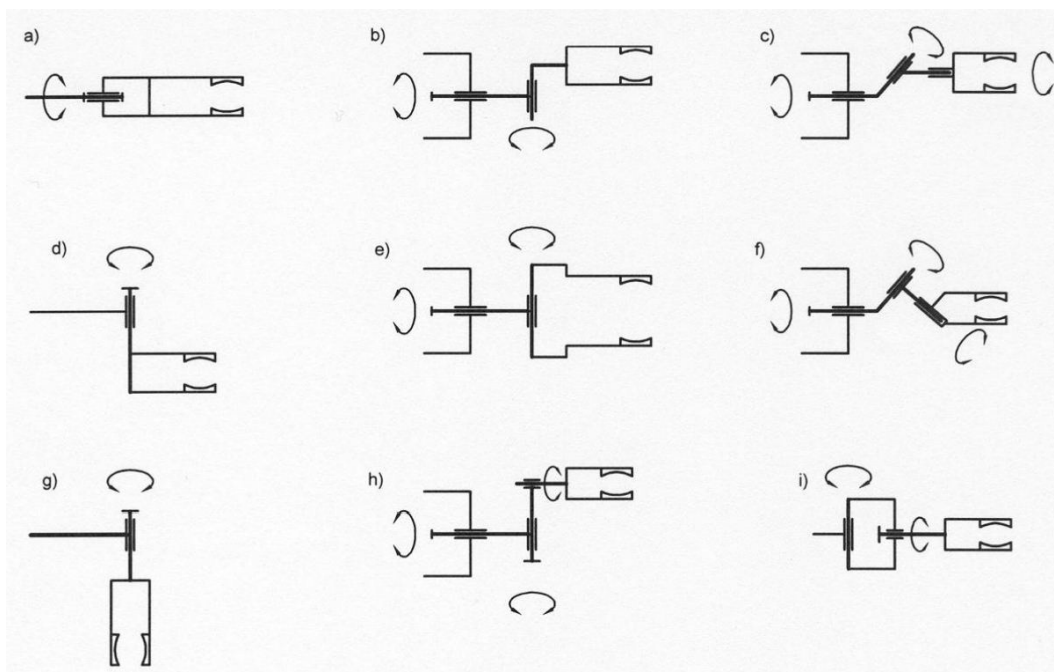
Obr. 7.1 Sférická struktura OÚ, 7.2 nesférická struktura OÚ [2]

Rozměry a hmotnost OÚ lze minimalizovat tak, že motory, které zajišťují pohyby v jednotlivých kloubech, budou vyvedeny pomocí převodů mimo OÚ a umístěny na druhý konec ramene. Avšak nemohou být opomenuty i ty varianty, které mají motory vně OÚ. Toto uložení motorů využívají například roboty s nízkou nosností. [2]

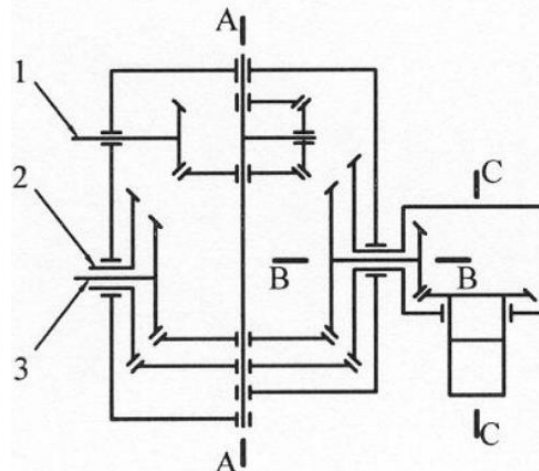
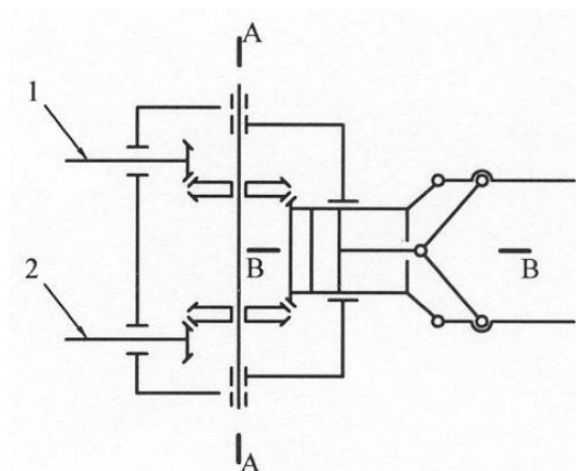
Charakteristiky navrhovaného OÚ: [2]

- Sférický pohyb
- Velký pracovní prostor
- Možnost oddálit pohon
- Kompaktní provedení, nízká hmotnost, malá setrvačnost
- Vysoká přesnost a opakovatelnost
- Vysoká tuhost
- Nízké výrobní náklady

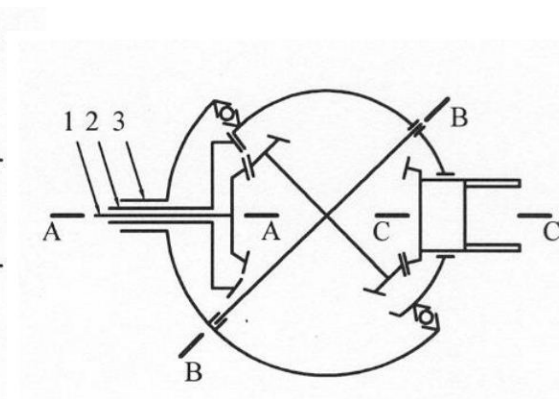
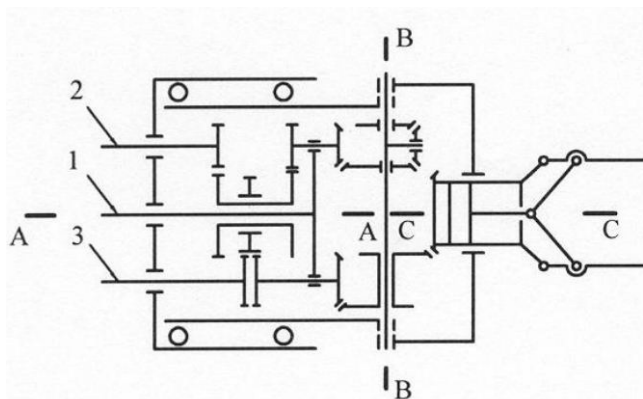
Na obr. 8. je přehled některých koncepčních řešení OÚ. U jednoúčelových manipulátorů bývají OÚ vybaveny jedním nebo dvěma stupni volnosti. Třetí stupeň je pro práci manipulátorů zbytečný. Využívá se pro univerzální roboty. [2]



Obr. 8. Příklady možných koncepcí OÚ [2]

Používané koncepce, včetně umístění převodů:

Obr. 9.1 OÚ se 2 stupni volnosti, 9.2 OÚ se 3 stupni volnosti [2]



Obr. 10.1 OÚ se 3 stupni volnosti, 10.2 OÚ se 3 stupni volnosti [2]

2.2.4 Efektor

Efektor se nachází na konci robota. Můžeme říci, že jde o tzv. mechanickou ruku. Drtivá většina efektorů se upevňuje na interface, který je normalizovaný. Existuje velké množství efektorů lišících se jeho využitím. Jedná-li se pouze o jednoúčelové čelisti k uchopení a přenesení objektu nebo víceúčelový efektor, který navíc může zvládnout technologickou činnost. Ve velké míře se efekторы navrhují pouze na daný typ úkonu. Vyskytují se i univerzálnější efekторы, které mají velké rozevření čelistí a jsou určeny pro větší nosnosti. Cena takových efektorů bývá vysoká. Tyto výhody a nevýhody by měl zvážit zájemce a rozhodnout se, zdali využije univerzálnějších čelistí nebo dá přednost většímu počtu jednoúčelových efektorů pro jednotlivé úkony, které operátor v případě potřeby bude na robota měnit. [2]

Výměna efektorů může být mechanická (provádí operátor) nebo automatická.

Interface u efektorů bývá buď normalizovaný, nebo speciálně navržený. Bývá to ovlivněno interfacem, kterým je vybaven robot. U univerzálnějších pyrotechnických robotů bývají další druhy efektorů umístěny v nástavcích na podvozku. Výměna efektorů se provádí automaticky. Operátor tak nemusí přímo k robotu a provést ruční výměnu.

Univerzální roboty jsou vybaveny nejrůznějšími efekty, které by si měly poradit prakticky se vším. Pro otevření kufru automobilu nebo vyražení dveří do místnosti bývá využíván efektor vybavený pistolí na stlačený vzduch. Mezi další patří standardní čelisti pro manipulaci s předměty, ale i čelisti malých rozměrů, kterými se provádí deaktivace výbušnin. Pro zjištění většího množství informací, například o výbušnině nebo prostoru, ve kterém se robot nachází, bývá využíván efektor s rentgenem.



Obr. 11. Efektor [8]

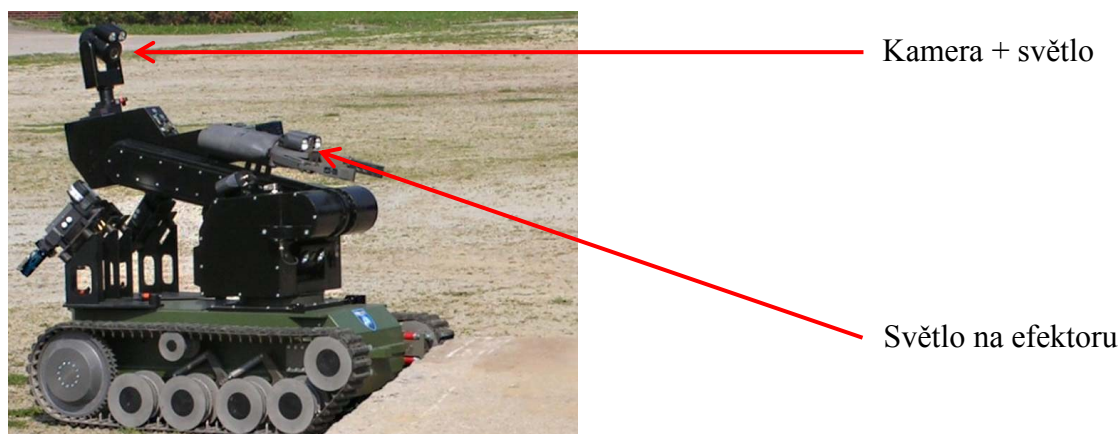
2.2.5 Příslušenství

Jedná se o komponenty, které nahrazují operátorovy oči a uši. Robot bez kamerového a mikrofonního vybavení by byl za určitých podmínek nepoužitelný. Pyrotechnický robot je vybaven nejrůznějšími druhy kamer, jak obyčejnými, tak i pro noční vidění. Kamery bývají umístěny tak, aby co nejlépe vyhovovaly operátorovi. Jejich umístění je obvykle na ramenech robotu, podvozku a efektoru. Rovněž mohou být připevněny na pohyblivých základnách. Takto zabírají širší zorné pole, sníží se jejich počet na robotu a vznikne tak místo pro další možné komponenty.

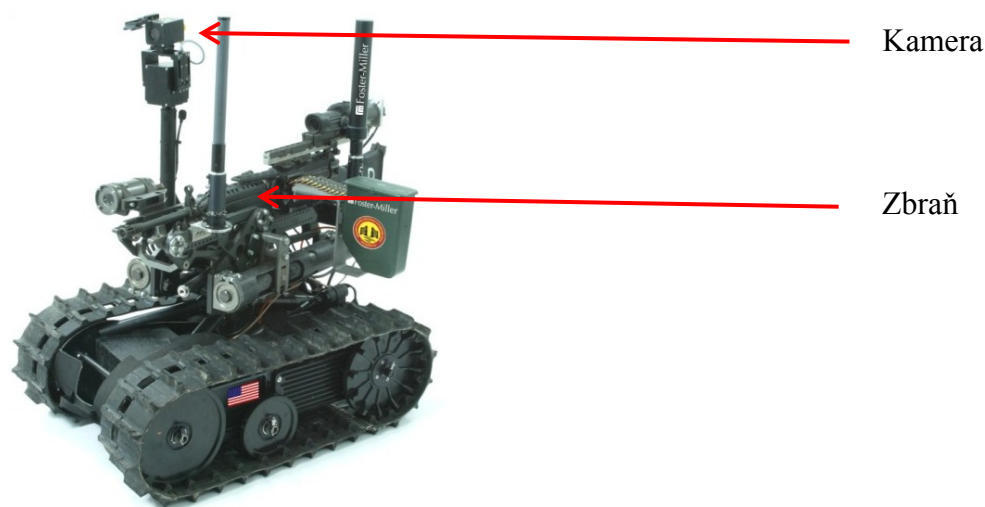
Dalším důležitým prvkem na robotu je bezpochyby světlo. Při využití externího zdroje světla se využitelnost pyrotechnického robotu zvýší časově i místem zásahu. Využitím diod namísto vláknových žárovek se ve velké míře ušetří elektrická energie.

Je mnoho prvků, které mohou být umístěny na robotu. Za zmínku určitě stojí například vysokotlaká nádoba. V nádobě je stlačen vzduch, který je využíván ke střelbě, nebo k otevření uzavřených prostor, jak již bylo zmíněno v kapitole o efektoru. Jako další prvek bezesporu patří přístroj pro vysílání elektromagnetických vln, které dokáží vyvolat výbuchu.

Je-li robot využíván přímo ve válečných operacích, bývá vybaven zbraněmi pro případný kontakt s nepřítelem.



Obr. 12. Příslušenství robotu tEODor [6], [7]



Obr. 13. Robot využívající střelnou zbraň [11]

2.2.6 Napájení a ovládání

Pyrotechnický robot bývá napájen pomocí baterie, která je umístěna v podvozkové části. Robot může být dobíjen v centrálních stanicích nebo v mobilní řídicí centrále. Celý robot je tedy “živý” pomocí elektrické energie.

Druhy ovládání robotu:

- bezdrátově
- pomocí kabelu

U bezdrátového ovládání robotu s využitím elektromagnetických vln bývá problém s komunikační vzdáleností mezi robotem a operátorem. K eliminaci tohoto problému se využívá bezdrátové ovládání pomocí satelitů. Díky tomuto způsobu ovládání může být robot ovládán z jakéhokoli místa na světě. Riziko bezdrátového ovládání je takové, že výbušnina může reagovat na vysílané a přijímané řídicí signály a následně detonovat. K odstranění tohoto nežádoucího vlivu se využívají rušičky. Ty zamezí náhlému výbuchu, ale i vysílání a přijímání signálu potřebných pro řízení robotu.

Využitím kabelu se nečekanému výbuchu předejde, protože se zde nevyužívá elektromagnetických vln pro řízení. Tímto se dostupnost robotu omezí. Dále se může kabel zaseknout o překážku, což vede k dalším problémům.

V současné době bývají univerzální roboty vybaveny oběma druhy řízení. Operátor se sám rozhodne, jakým způsobem bude robot ovládat.

Robot nemusí být ovládán pouze z mobilní centrály, ale může k tomu posloužit i mobilní stanoviště. Jedná se o ovladač nebo notebook s vytvořeným programovým rozhraním, se kterým je operátor schopen ovládat robot jako z hlavní centrály.



Obr. 14. Dálkový ovládací pult (ovládání bez kabelu) [11]



Obr. 15. Ovládání robota pomocí ovladače propojeným pomocí kabelu [15]

2.3 DOPRAVA

Jedná se o transportní automobil, který dopraví celý pyrotechnický tým s veškerým vybavením včetně robota na místo, kde se vyskytuje výbušnina. V automobilu je potřebné vše pro zneškodnění jakékoli výbušniny. Nachází se zde taktéž řídicí stanice, pomocí které operátor v bezpečí řídí roboty. [7]

Přeprava nemusí být pouze pomocí automobilu. Hmotnost některých robotů je natolik nízká, že je lze přemisťovat na zádech. Což bývá využíváno u pěších jednotek při armádních akcích. [16]



Obr. 16. Transportní služba a řídicí pult uvnitř mobilní jednotky [6]



Obr. 17. Přenášení lehkých robotu při vojenských akcích [16]

2.4 Různé konstrukce pyrotechnických robotů

2.4.1 ROBOT TEODOR

Jedná se o pyrotechnický robot od německé firmy Telerob, který mimo jiné využívá Ministerstvo obrany a Armáda České republiky. Robot je určen k manipulaci s nebezpečnými předměty, k ochraně a zabezpečení budov, areálů a různých prostorů. [6],[7]

Je vybaven rentgenem, rozstřelovacím zařízením, zbraňovým arzenálem a zmrazovacím zařízením. Pomocí přídavných přístrojů a zařízení může robot řezat plech, vrtat otvory a odtáhnout i vozidlo. [6],[7]

Technická data:

Délka:	1300 mm
Šířka:	680 mm
Výška:	rozložený: 1100 mm
	čelist vertikálně/horizontálně: 4800/2400 mm
Schopnost jízdy do stoupání po schodišti s max. zatížením:	32°
Celková hmotnost:	360 kg
Rychlost:	0-50 m/min



Obr. 18. Robot tEODor [6],[7]

2.4.2 Robot IBIS

Robot IBIS od firmy PIAP je hlavně využíván pro manipulaci s nebezpečnými předměty. Je určen především pro provoz v obtížných a rozmanitých terénech (písek, sníh, skály). Vysoká rychlost robota umožňuje dynamické akce. Robotův manipulátor poskytuje velký rozsah činností a aplikací. Precizní systém pohonu umožňuje plynulost pohybu všech částí robota, a to i během rychlé jízdy. [8]



Obr. 19. Robot IBIS [8]

2.4.3 Robot 510 PackBot

Jedná se o taktický mobilní robot od firmy iROBOT, který dokáže provádět mnoho úkolů. Dodává se vojenským silám na celém světě. Dokáže neutralizovat bomby, prohledávat budovy, bunkry, jeskyně, tunely, apod. [9]

Základní údaje:

- Dokáže lézt po schodech
- Dosahuje rychlosti až 9,3 km/h
- Podvozek vydrží pád ze šestého patra
- Vydrží ponoření do 2 metrů
- Má velkou škálu přídatných zařízení
- Lze jej ručně přenášet
- Nasazení jednou osobou netrvá více jak 2 minuty



Obr. 20. Robot 510 PackBot [9]

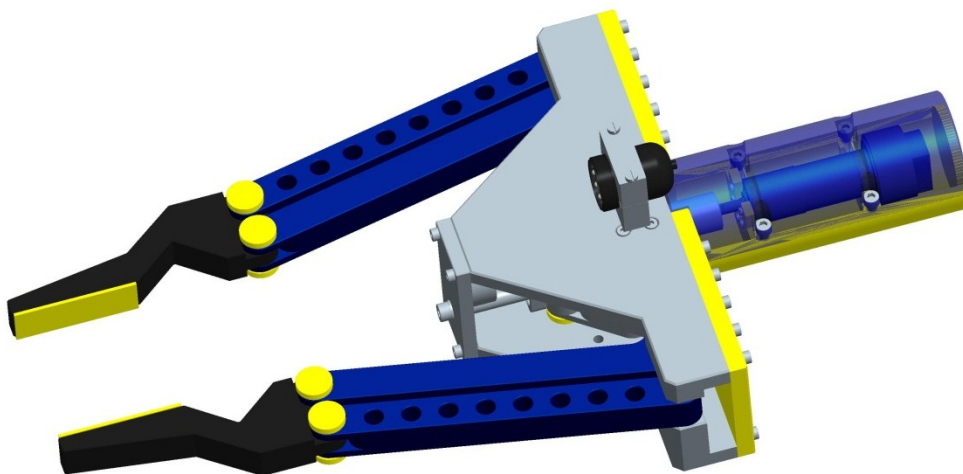
3. POŽADAVKOVÝ LIST

Požadavky:

- Nosnost orientačního ústrojí: 25 kg
- Počet stupňů volnosti: 2
- Z Bc. práce Ing. Jana Lipiny využít pouze efektor: 12 kg
- Mechanické připojení efektoru operátorem.
- Zamezit vyčnívání pohonů přes rozměry efektoru.
- Pohony umístěny vně orientačního ústrojí.
- Připojení orientačního ústrojí ke zvolenému rameni pouze z jedné strany.

4. NÁVRHY ŘEŠENÍ

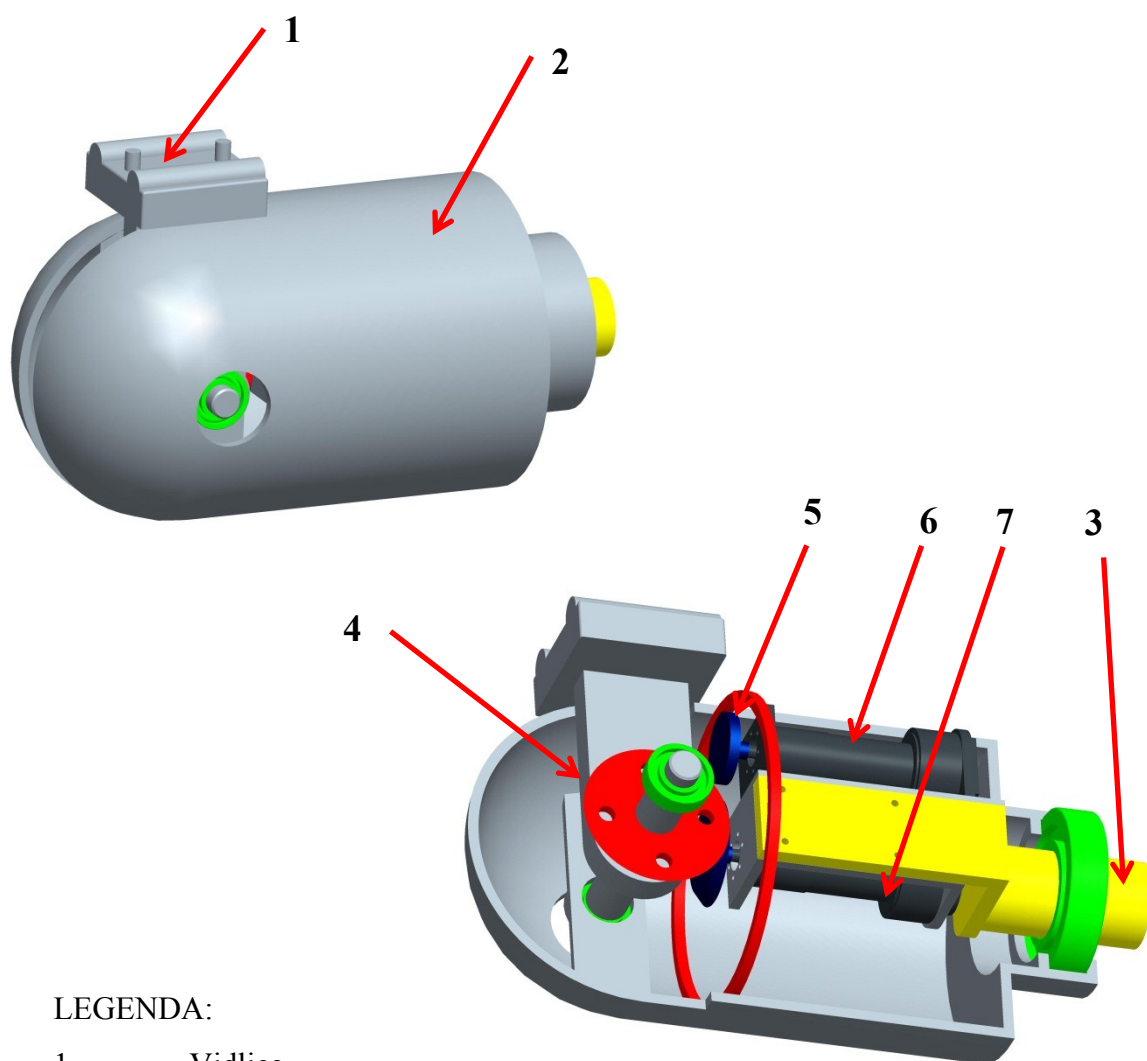
Ze zadaných požadavků byly navrženy jednotlivé varianty. Z těchto jednoduchých modelů byl porovnáván vzhled, složitost konstrukce, umístění pohonů a další rozdíly. Následně byla zvolena společná kritéria, která se stala základem hodnotové analýzy. Jako základ byl použit efektor Ing. Jana Lipiny, který bude navržené orientační ústrojí nést.



Obr. 21. Efektor Ing. Jana Lipiny [5]

4.1.1 Varianta A

Orientační ústrojí se skládá z jednoho rámu ve tvaru válce, který je pohyblivý. Nosným prvkem je zde hřídel. Pohony zajišťující naklápění a rotaci čelistí jsou umístěny uvnitř rámu. Osy pohonů jsou vůči sobě v rovnoběžné poloze. Pohyb naklápění zajišťuje kuželové soukolí. Pro rotaci je zde použit ozubený hřeben, který je umístěn na vnitřní stěně válcového rámu.



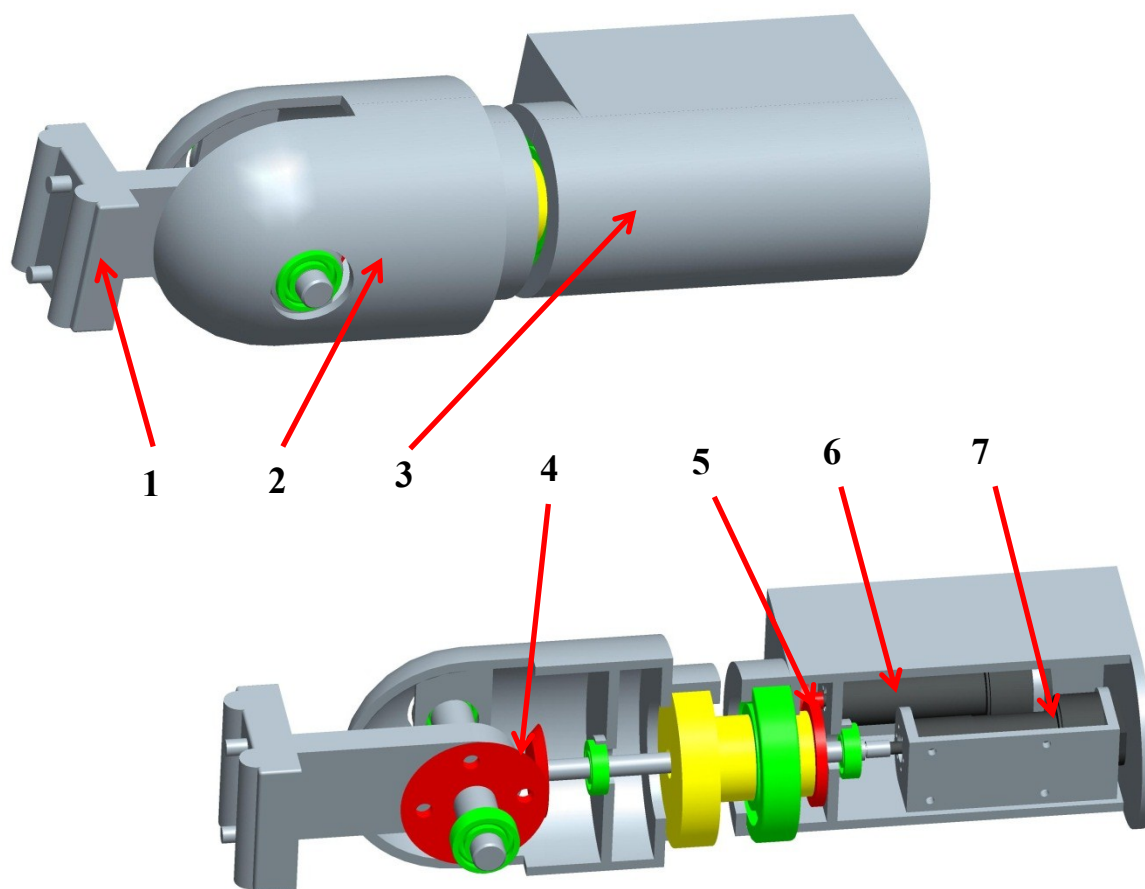
LEGENDA:

1. Vidlice
2. Pohyblivý rám
3. Nosná hřídel
4. Kuželové soukolí
5. Ozubený hřeben
6. Pohon – rotační pohyb
7. Pohon – naklápěcí pohyb

Obr. 22. Varianta A

4.1.2 Varianta B

Tato varianta se liší od varianty A v tom, že se skládá již ze dvou ráků. Jeden je pevný a druhý pohyblivý. Pohony jsou umístěny v pevném ráku. Osy pohonů jsou opět vůči sobě v rovnoběžné poloze. Naklápění je rovněž zajištěno kuželovým soukolím. U rotace je využito ozubeného soukolí oproti ozubenému hřebenu, který je použit ve variantě A.



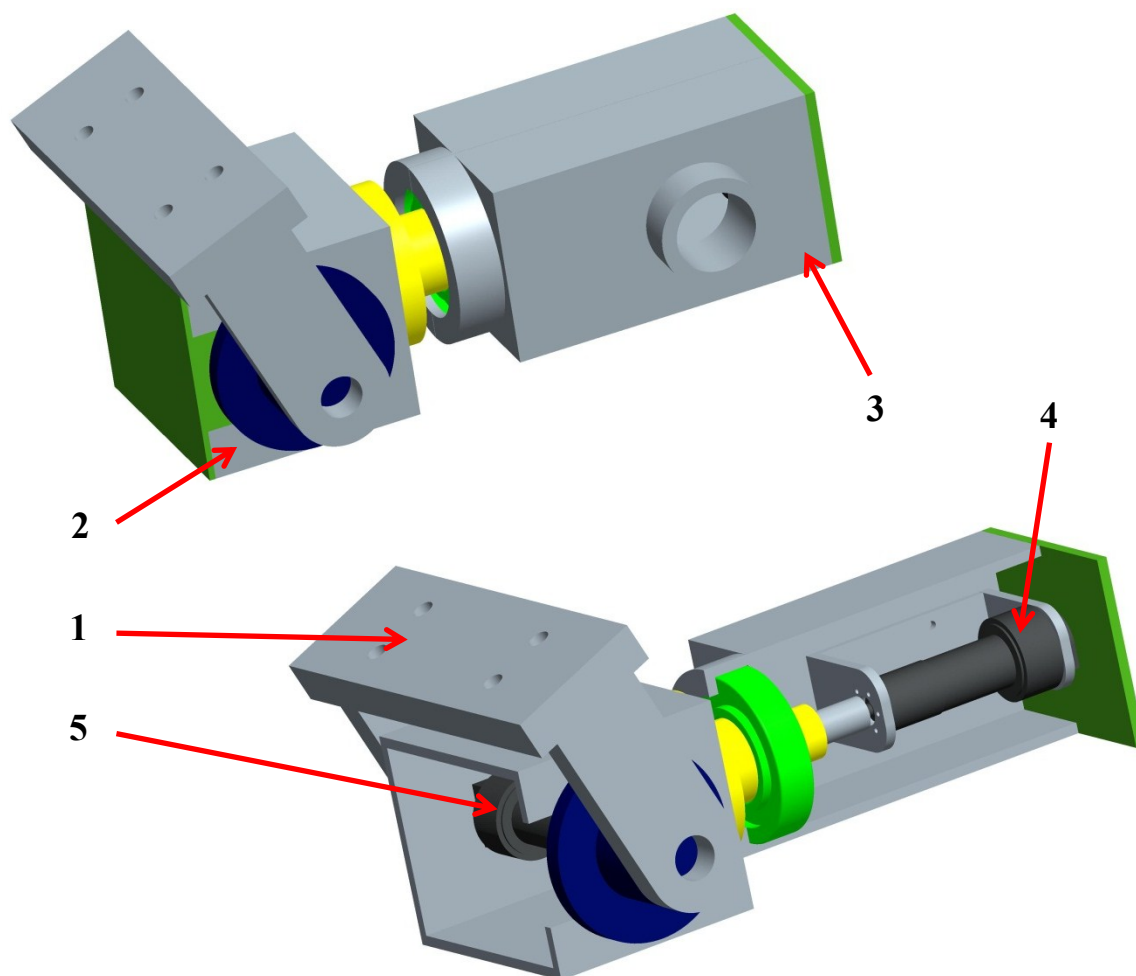
Obr. 23. Varianta B

LEGENDA:

1. Vidlice
2. Pohyblivý rám
3. Nosný rám
4. Kuželové soukolí
5. Ozubené přímé soukolí
6. Pohon – rotační pohyb
7. Pohon – naklápěcí pohyb

4.1.3 Varianta C

I tato varianta je složena ze dvou částí rámu jako u varianty B. Pevný a pohyblivý rám. Pohon zajišťující naklápění je umístěn v pohyblivém rámu. Pohon zajišťující rotaci je v pevném rámu a otáčí s pohyblivým rámem a pohonem zajišťující naklápění. Osy pohonů jsou vůči sobě v kolmé poloze. Pohyby jsou uskutečněny přímo z pohybové jednotky a není zde využito žádného dalšího převodu.



Obr. 24. Varianta C

LEGENDA:

1. Vidlice
2. Pohyblivý rám
3. Nosný rám
4. Pohon – rotační pohyb
5. Pohon – naklápěcí pohyb

4.2 HODNOTOVÁ ANALÝZA

METODA POROVNÁNÍ V TROJÚHELNÍKU PÁRU. [3]

Metoda porovnání v trojúhelníku párů slouží k určení významnosti kritérií. Jsou hodnocena pouze dvě kritéria mezi sebou. Toto řešení je přesnější a jednodušší než, kdyby se hodnotila všechna kritéria současně.

Nejdříve se určí kritéria a jejich hodnota. Do tabulky se pak symetricky seřadí páry kritérií, jenž se budou navzájem posuzovat. Kritéria, která se pak jeví jako významnější, jsou označeny barvou. V případě, že jsou obě kritéria stejně významné, jsou označeny barvou obě.

Počet voleb v určíme tak, že sečteme dílčí hodnoty významnosti. Je-li z porovnaného páru kritérií jedna významnější než druhá, ohodnotíme ji hodnotou 1. Mají-li kritéria stejnou váhu, ohodnotíme ji hodnotou 0,5. Následně určíme pořadí významnosti kritérií. Nejvyšší hodnotě v přiřadíme 1. místo a pro ostatní pokračujeme v daném postupu.

Významnost kritérií byla zvolena v rozsahu 1 a 2. Závislost váhy významnosti na počtu voleb v byla zvolena lineární. $q = f(v)$.

Počtu voleb $v = 0,5$ připadá váha významnosti $q = 1$ a $v = 5$ připadá $q = 2$.

Rovnice křivky závislosti váhy významnosti na počtu voleb:

$$y = \frac{2}{9} * \left(x - \frac{1}{2}\right) + 1$$

4.2.1 Hodnotící kritéria

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Cena	Odhad celkových nákladů
K2	Hmotnost	Hmotnost orientačního ústrojí
K3	Rozměry	Minimální rozměry
K4	Údržba	Náročnost na údržbu
K5	Konstrukce	Složitost konstrukce, výrobní náročnost
K6	Náročnost na řízení pohonů	Možnost dosažení přesné polohy efektoru

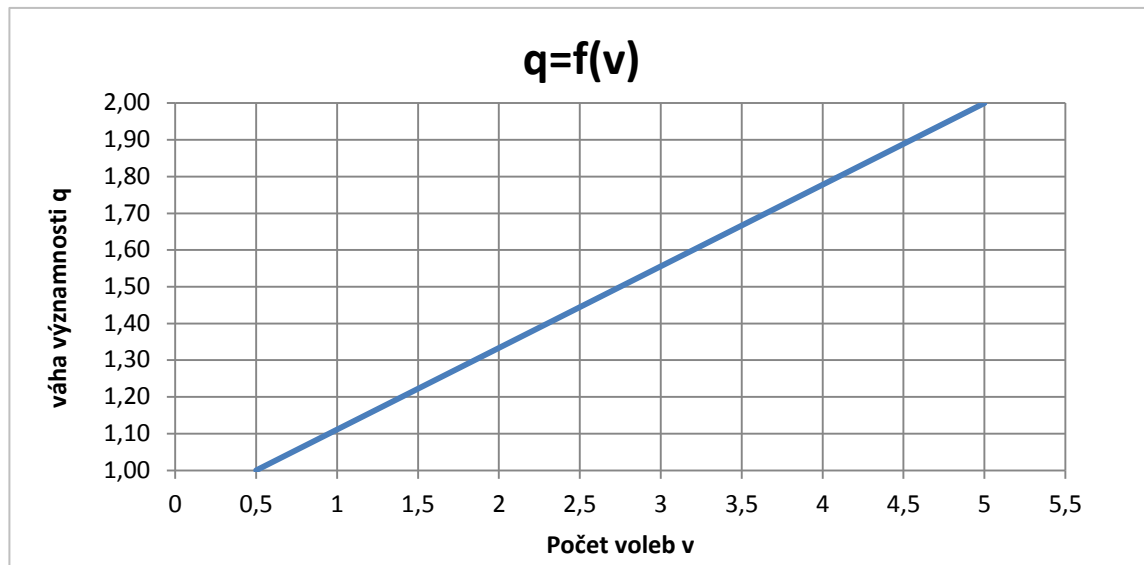
Tab. 1. Hodnotící kritéria

4.2.2 Vyhodnocení významnosti kritérií

Porovnané páry kritérií					Počet voleb v	Pořadí	Váha významnosti q
K1	K1	K1	K1	K1	2,5	3	1,44
K2	K3	K4	K5	K6			
	K2	K2	K2	K2	2,5	2	1,44
	K3	K4	K5	K6			
		K3	K3	K3	2,5	2	1,44
		K4	K5	K6			
			K4	K4	0,5	4	1,00
			K5	K6			
				K5	5	1	2,00
				K6	2	3	1,33

Tab. 2. Vyhodnocení významnosti kritérií

4.2.3 Graf závislost váhy významnosti na počtu voleb v



Graf 1. Závislost váhy významnosti na počtu voleb v

4.2.4 Rozsah hodnot kritérií a Významnost kritérií

Hodnoty kritérií	
Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Významnost kritérií	
Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Tab. 3. a 4. Hodnoty kritérií a Významnost kritérií

4.2.5 Vyhodnocení kritérií jednotlivých variant

Varianta A (jeden rám a ozubený hřeben)				
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Index změny lij	Vážený index kritérií lij*
K1	4	1,44	4	5,76
K2	4	1,44	4	5,76
K3	5	1,44	5	7,20
K4	3	1,00	3	3,00
K5	3	2,00	3	6,00
K6	2	1,30	2	2,60
Celkový součet vážených indexů lij* varianty A				30,32

Tab. 5. Vyhodnocení kritérií pro variantu A

Varianta B (dva rámy a ozubená soukolí)				
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Index změny lij	Vážený index kritérií lij*
K1	5	1,44	5	7,20
K2	4	1,44	4	5,76
K3	5	1,44	5	7,20
K4	4	1,00	4	4,00
K5	4	2,00	4	8,00
K6	2	1,30	2	2,60
Celkový součet vážených indexů lij* varianty B				34,76

Tab. 6. Vyhodnocení kritérií pro variantu B

Varianta C (dva rámy, bez ozubených soukolí)				
Kritérium	Hodnota	Váha významnost i kritéria q	Index změny lij	Vážený index kritérií lij*
K1	6	1,44	6	8,64
K2	6	1,44	6	8,64
K3	5	1,44	5	7,20
K4	5	1,00	5	5,00
K5	6	2,00	6	12,00
K6	5	1,30	5	6,50
Celkový součet vážených indexů lij* varianty C				47,98

Tab. 7. Vyhodnocení kritérií pro variantu C

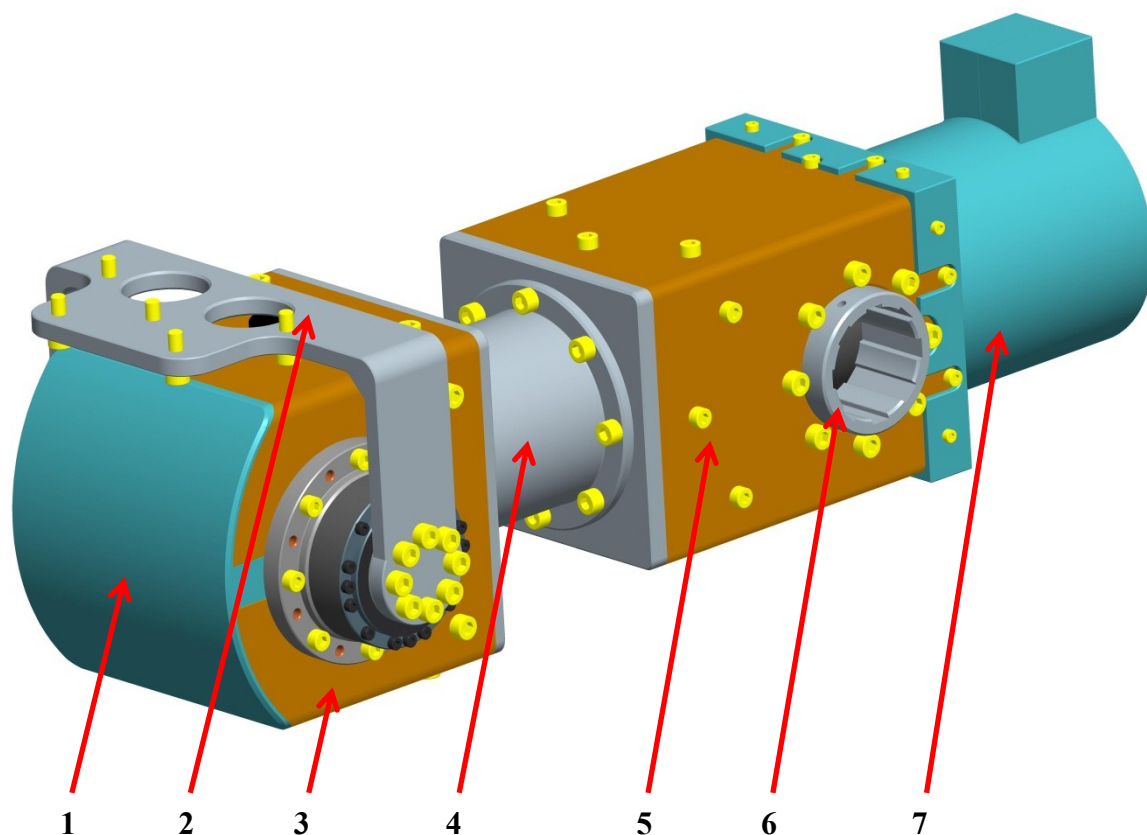
4.2.6 Vyhodnocení hodnotové analýzy

Pořadí	Celkový součet vážených indexů lij*	Varianta
1.	47,98	C
2.	34,76	B
3.	30,32	A

Tab. 8. Vyhodnocení hodnotové analýzy

Z vyhodnocení hodnotové analýzy vyplývá, že neoptimálnější variantou z nabízených je **varianta C**.

5. NEJOPTIMÁLNĚJŠÍ VARIANTA OÚ VYBRANÁ POMOCÍ HODNOTOVÉ ANALÝZY



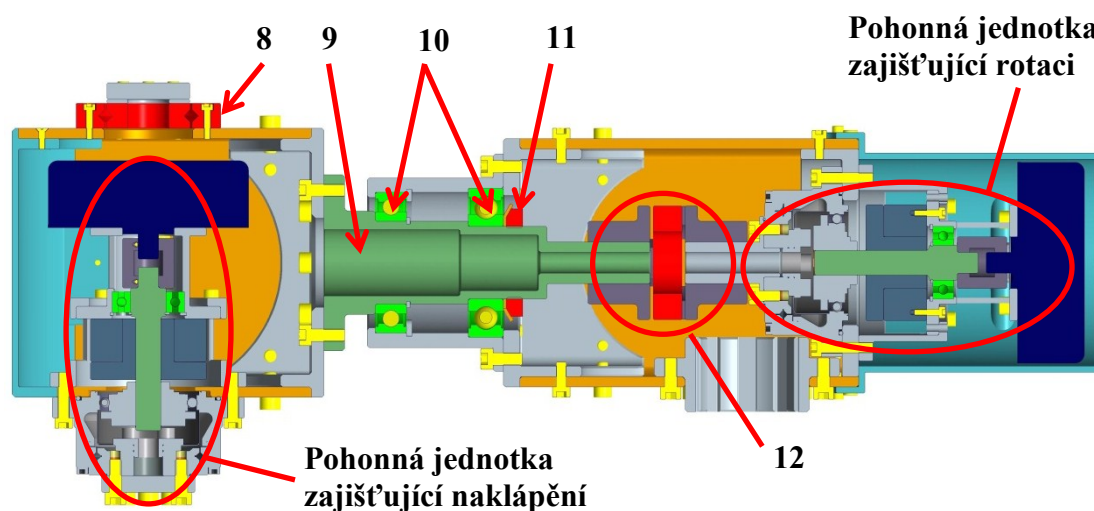
Obr. 25. Neoptimálnější varianta OÚ

LEGENDA:

1. Kryt pohyblivého rámu
2. Vidlice pro připojení efektoru
3. Pohyblivý rám
4. Ložiskový domek
5. Nosný rám
6. Drážkový náboj pro připojení ramene robotu
7. Kryt nosného rámu

Výsledná varianta je složena ze dvou rámců. Pevný (5) a pohyblivý (3). V každém z nich se nachází pohonná jednotka, která zajišťuje jeden pohyb OÚ. Oba rámy jsou zhotoveny z hliníkových profilů tvaru jekl. K zakrytí obou rámců slouží kryty (1,7) vytvořeny technologií 3D tisku. K propojení pevné a pohyblivé části OÚ je nosná hřídel

(Obr. 26. pozice 9). Ke spojení mezi ramenem robota a OÚ je využit drážkový spoj (Obr. 25. pozice 6). Efektor bude pomocí šroubů připevněn k vidlici (Obr. 25. pozice 2).



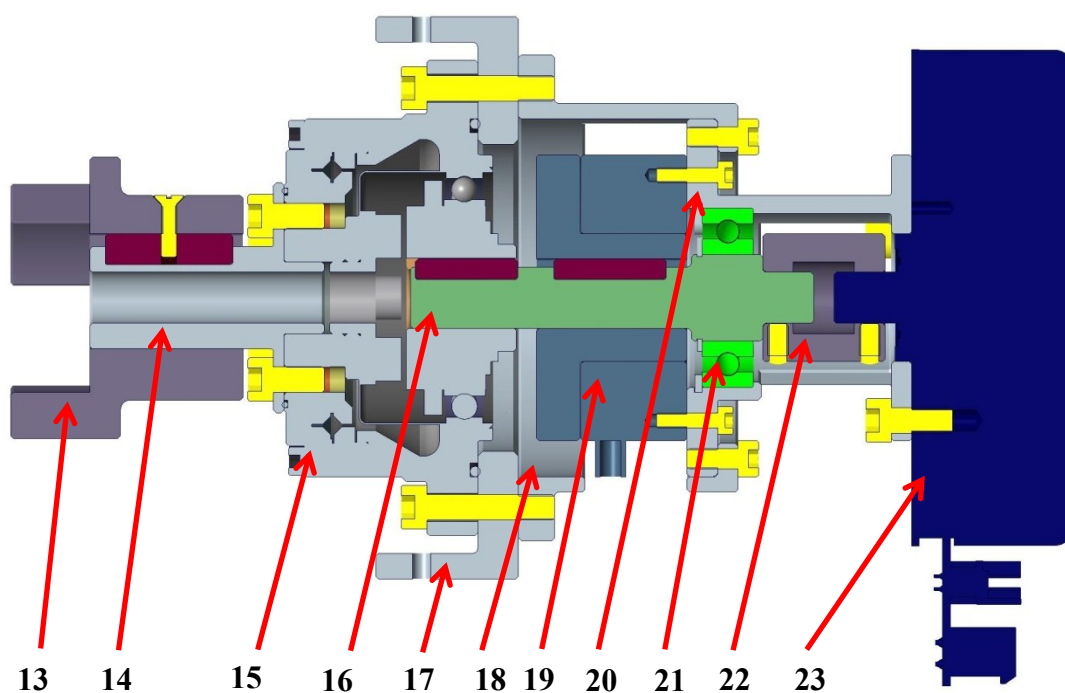
Obr. 26. Podélný řez neoptimálnější varianty OÚ

LEGENDA:

- 8. Ložisko typu RU
- 9. Nosná hřídel
- 10. Kuličková ložiska
- 11. Matice KM
- 12. Spojka GE-T

Vidlice je propojena s pohyblivým rámem z jedné strany přímo na harmonickou převodovku pohonné jednotky zajišťující naklápění a z druhé strany s ložiskem typu RU (8). Nosná hřídel (9) zajištěná KM maticí (11) je vložena do ložiskového domku (Obr. 25 pozice 4) ve kterém se nacházejí kuličková ložiska (10). Pro pohyb rotace k přenesení krouticího momentu z pohonné jednotky na nosnou hřídel (9) slouží spojka typu GE-T (12).

Pohonné jednotky zajišťující pohyby OÚ jsou složeny ze stejných komponentů. Rozdílným prvkem je připojovací deska, která je umístěna mezi harmonickou převodovkou (Obr. 27. pozice 15) a rámem rotace 2 (Obr. 27. pozice 18). U pohonné jednotky zajišťující rotaci je to deska k propojení s nosným rámem (Obr. 27. pozice 17). V jednotce pro naklápění je to pohyblivý rám (Obr. 25. pozice 3).



Obr. 27. Pohonná jednotka zajišťující rotaci

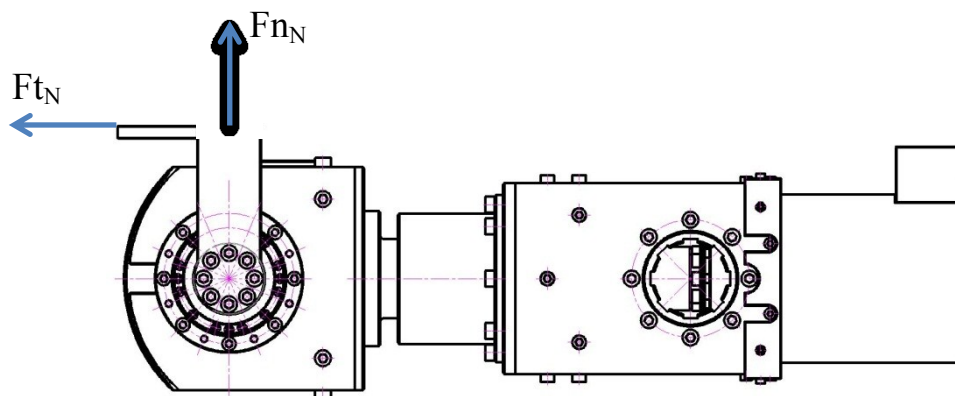
LEGENDA:

- 13. Spojka GE-T
- 14. Propojovací hřídel
- 15. Převodovka CSG 20
- 16. Vyvedená hřídel pro brzdu
- 17. Deska k propojení s nosným rámem OÚ
- 18. Rám rotace 2
- 19. Brzda Kendrion MP Line 06
- 20. Rám rotace 1
- 21. Ložisko 6003
- 22. Spojka WKAS
- 23. Motor EC 90

6. NÁVRHOVÉ VÝPOČTY A VOLBA KOMPONENTŮ

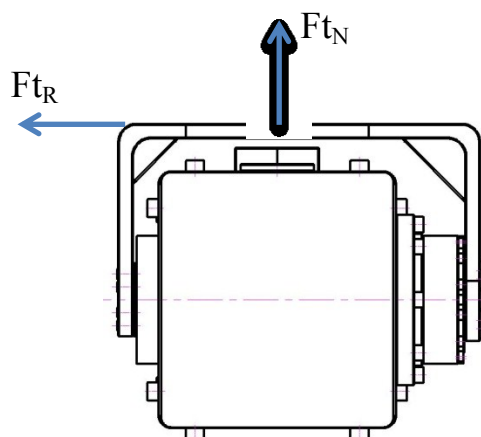
6.1 ROZLOŽENÍ SIL PŘI POHYBECH

Naklápění:



Obr. 28. Rozložení tečné a normálové síly při naklápění

Rotace:



Obr. 29. Rozložení tečné a normálové síly při rotaci

Při jednotlivých pohybech vzniknou tečné a normálové síly. (obr 28 a 29)

Zadané hodnoty:

Hmotnost OM:

$$m_1 = 13 \text{ kg}$$

Hmotnost efektoru:

$$m_2 = 12 \text{ kg}$$

Počet otáček rotace:

$$n_{2r} = 8 \text{ ot/min}$$

Počet otáček naklápění:

$$n_{2n} = 6 \text{ ot/min}$$

Úhlové zrychlení:

$$\varepsilon = 0,4 \text{ rad/s}^2$$

6.1.1 Tečná a normálová síla při rotaci

$$n_{2R} = 8 \text{ ot/min} \rightarrow \omega_{2R} = 0,838 \text{ rad/s}$$

Doba pro zrychlování / brzdění:

$$t_R = \frac{\omega_{2R}}{\varepsilon_R} \quad (1)$$

$$t_R = \frac{0,838}{0,4} = 2,1 \text{ s}$$

Síla rotuje na rameni $l_R = 118 \text{ mm}$

Tečné zrychlení při rotaci:

$$a_{tR} = \varepsilon_R \cdot l_R \quad (2)$$

$$a_{tR} = 0,4 \cdot 0,118 = 0,0472 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Normálové zrychlení při rotaci:

$$a_{nR} = \omega_{2R}^2 \cdot l_R \quad (3)$$

$$a_{nR} = 0,838^2 \cdot 0,118 = 0,0828 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Tečná síla rotace:

$$F_{tR} = (m_1 + m_2) \cdot a_{tR} \quad (4)$$

$$F_{tR} = (13 + 12) \cdot 0,0472 = 1,2 \text{ N}$$

Normálová síla rotace:

$$F_{nR} = (m_1 + m_2) \cdot a_{nR} \quad (5)$$

$$F_{nR} = (13 + 12) \cdot 0,0828 = 2,1 \text{ N}$$

6.1.2 Tečná a normálová síla při naklápění

$$n_{2N} = 6 \text{ ot/min} \rightarrow \omega_{2N} = 0,628 \text{ rad/s}$$

Doba pro zrychlování / brzdění:

$$t_N = \frac{\omega_{2N}}{\varepsilon_N} \quad (6)$$

$$t_N = \frac{0,628}{0,4} = 1,57 \text{ s}$$

Síla rotuje na rameni $l_N = 118 \text{ mm}$

Tečné zrychlení při rotaci:

$$a_{tN} = \varepsilon_N \cdot l_N \quad (7)$$

$$a_{tN} = 0,4 \cdot 0,118 = 0,0472 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Normálové zrychlení při rotaci:

$$a_{nN} = \omega_N^2 \cdot l_N \quad (8)$$

$$a_{nN} = 0,628^2 \cdot 0,118 = 0,0465 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Tečná síla rotace:

$$Ft_N = (m_1 + m_2) \cdot a_{tN} \quad (9)$$

$$Ft_N = (13 + 12) \cdot 0,0472 = 1,2 \text{ N}$$

Normálová síla rotace:

$$Fn_N = (m_1 + m_2) \cdot a_{nN} \quad (10)$$

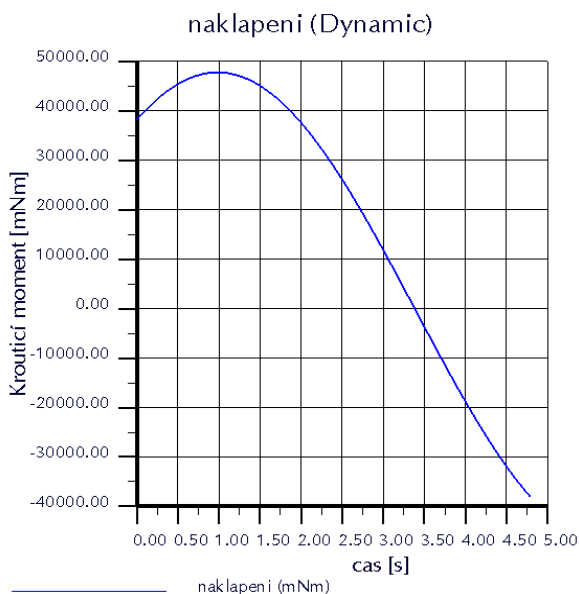
$$Fn_N = (13 + 12) \cdot 0,0465 = 1,2 \text{ N}$$

6.2 NÁVRH POHONNÝCH JEDNOTEK

Výstupní krouticí momenty orientačního ústrojí pro výpočty pohonných jednotek jsou určeny z programu Pro ENGINEER.

6.2.1 Naklápěcí pohybová jednotka

Graf krouticího momentu pro pohyb naklápění:



Graf 2. Krouticí moment pro pohyb naklápění

Maximální naměřená hodnota krouticího momentu je 47,8 Nm.

6.2.2 Volba převodovky

Převodovka je volena podle výstupního krouticího momentu a to $M_{k2N} = 47,8 \text{ Nm}$.

Zvolená převodovka CSG-20-160-2UH

Jedná se o převodovku od firmy Harmonic drive:

- | | |
|----------------------------|--------|
| - zástavbový rozměr | 20 |
| - řízený krouticí moment | 52 Nm |
| - kolizový krouticí moment | 191 Nm |
| - převodový poměr | 160:1 |
| - účinnost | 90 % |



Obr. 30. Harmonická převodovka typu CSG-20-160-2UH [17]

6.2.3 Výpočet motoru

Zadané hodnoty:

- | | |
|--|---|
| Účinnost motoru: | $\eta_M = 84 \%$ |
| Účinnost převodovky: | $\eta_{Pf} = 90 \%$ |
| Převodový poměr převodovky pro naklápění: | $i_{PfN} = 160$ |
| Požadované otáčky pro naklápění: | $n_{2N} = 6 \text{ ot}$ |
| Moment setrvačnosti sestavy pro naklápění: | $I_{SN} = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ |
| Moment setrvačnosti převodovky: | $I_{Pf} = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ |
| Krouticí moment při naklápění: | $M_{k2N} = 47,8 \text{ Nm}$ |

Úhlová rychlost při naklápění: $\omega_{2N} = 0,628 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Úhlové zrychlení: $\varepsilon = 0,4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$

Celková účinnost:

Výstupní otáčky motoru:

$$\eta_{cN} = \eta_M \cdot \eta_{Př} \quad (11)$$

$$n_{1N} = i_{PřN} \cdot n_{2N} \quad (12)$$

$$\eta_{cN} = 0,84 \cdot 0,9 = 0,756 \rightarrow 75,6 \%$$

$$n_{1N} = 160 \cdot 6 = 960 \text{ ot/min}$$

Redukovaný moment setrvačnosti:

$$I_{M \rightarrow Př} = I_M \cdot i_{PřN}^2 \quad (13)$$

$$I_{M \rightarrow Př} = 3,06 \cdot 10^{-4} \cdot 160^2 = 7,833 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Celkový moment setrvačnosti:

$$I_{cN} = I_{M \rightarrow Př} + I_{SN} + I_{Př} \quad (14)$$

$$I_{cN} = 7,833 + 3,8 \cdot 10^{-2} + 1,93 \cdot 10^{-5} = 7,87 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Požadovaný výkon motoru:

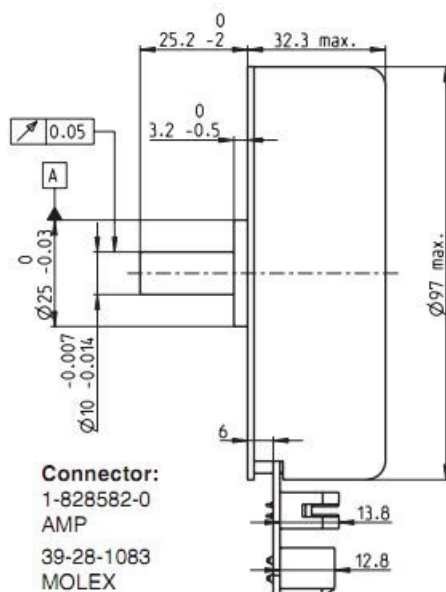
$$P_N = \frac{(Mk_{2N} + I_{cN} \cdot \varepsilon_N) \cdot \omega_{2N}}{\eta_{cN}} \quad (15)$$

$$P_N = \frac{(47,8 + 7,87 \cdot 0,4) \cdot 0,628}{0,756} = 42,32 \text{ W}$$

Na základě těchto vypočtených parametrů byl zvolen motor typu EC 90 flat s číslem 346970.

Jedná se o motor od firmy Maxon:

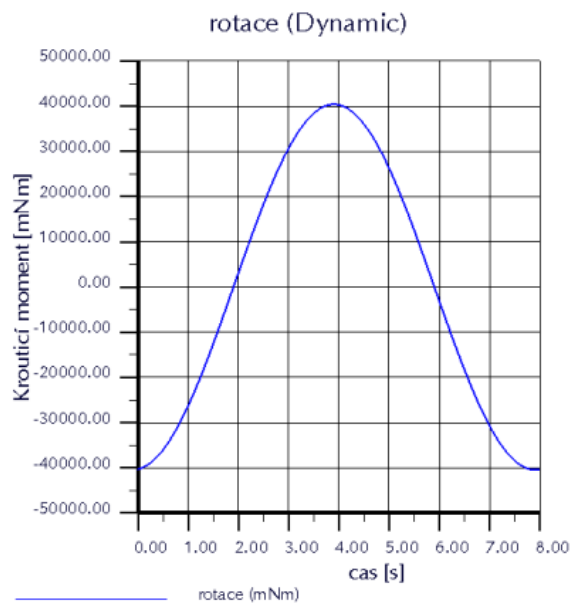
- Jmenovité napětí	36 V
- Jmenovitý proud	1,78 A
- Otáčky naprázdno	1560 ot/min
- Výkon	60 W
- Startovací proud	15,6 A
- Jmenovitý krouticí moment	0,405 Nm
- Startovací krouticí moment	3,4 Nm
- Účinnost	84 %



Obr. 31. Motor EC 90 flat [18]

6.2.4 Rotační pohybová jednotka

Graf krouticího momentu pro pohyb rotace:



Graf 3. Krouticí moment pro pohyb rotace

Maximální naměřená hodnota krouticího momentu je 40,6 Nm.

6.2.5 Volba převodovky

Převodovka je volena podle výstupního krouticího momentu a to $M_{k2R} = 40,6 \text{ Nm}$.

Zvolená převodovka CSG-20-160-2UH. Jedná se o tutéž převodovku, která je již použita v naklápěcí pohybové jednotce.

6.2.6 Výpočet motoru

Zadané hodnoty:

Účinnost motoru:	$\eta_M = 84 \%$
Účinnost převodovky:	$\eta_{Př} = 90 \%$
Převodový poměr převodovky pro rotaci:	$i_{PřR} = 160$
Požadované otáčky pro rotaci:	$n_{2R} = 8 \text{ ot}$
Moment setrvačnosti sestavy pro rotaci:	$I_{SR} = 2,45 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Moment setrvačnosti převodovky:	$I_{Př} = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Krouticí moment při rotaci:	$Mk_{2R} = 40,6 \text{ Nm}$
Úhlová rychlost při rotaci:	$\omega_{2R} = 0,838 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
Úhlové zrychlení:	$\varepsilon = 0,4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$

Celková účinnost:

$$\eta_{cR} = \eta_M \cdot \eta_{Př} \cdot \eta_{Lož} \quad (16)$$

$$\eta_{cR} = 0,84 \cdot 0,9 \cdot 0,99 = 0,748 \rightarrow 74,8 \%$$

Výstupní otáčky motoru:

$$n_{1R} = i_{PřR} \cdot n_{2R} \quad (17)$$

$$n_{1R} = 160 \cdot 8 = 1280 \text{ ot/min}$$

Redukovaný moment setrvačnosti:

$$I_{M \rightarrow Př} = I_M \cdot i_{PřR}^2 \quad (18)$$

$$I_{M \rightarrow Př} = 3,06 \cdot 10^{-4} \cdot 160^2 = 7,833 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Celkový moment setrvačnosti:

$$I_{cR} = I_{M \rightarrow Př} + I_{SR} + I_{Př} \quad (19)$$

$$I_{cR} = 7,833 + 2,45 \cdot 10^{-2} + 1,93 \cdot 10^{-5} = 7,857 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

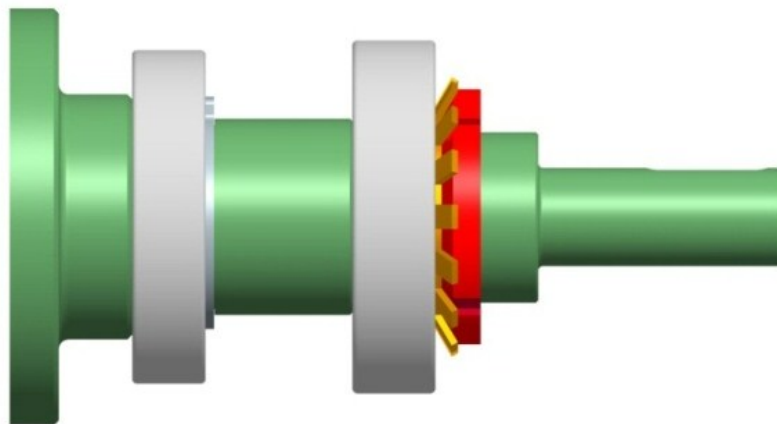
Požadovaný výkon motoru:

$$P_R = \frac{(Mk_{2R} + I_{cR} \cdot \varepsilon_R) \cdot \omega_{2R}}{\eta_{cR}} \quad (20)$$

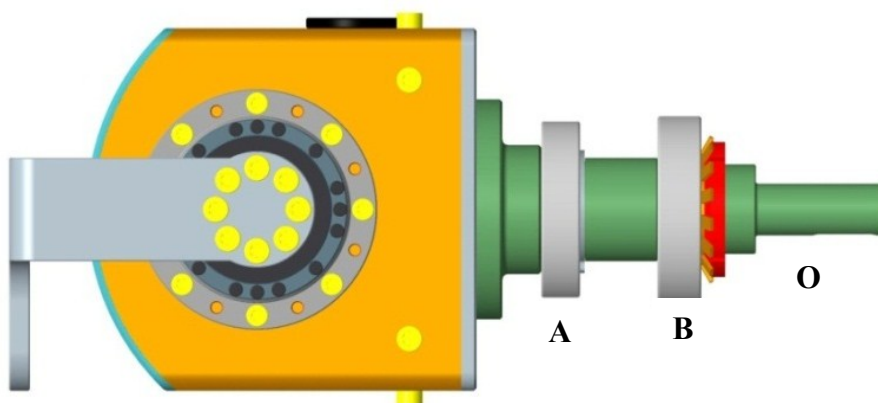
$$P_R = \frac{(40,6 + 7,857 \cdot 0,4) \cdot 0,838}{0,748} = 49 \text{ W}$$

Na základě těchto vypočtených parametrů byl zvolen motor typu EC 90 flat s číslem 346970. Jedná se o stejný motor jako u naklápěcí jednotky.

6.3 KONTROLA LOŽISEK NA NOSNÉ HŘÍDELI



Obr. 32. Nosná hřídel s kuličkovými ložisky

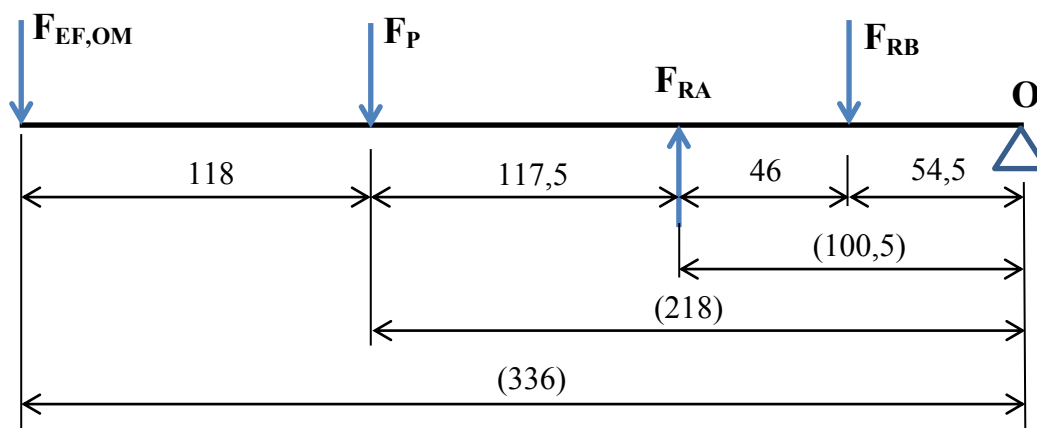


Obr. 33. Nosná hřídel s pohyblivou částí OÚ

6.3.1 Určení radiálních sil působících na ložiska

Zadané hodnoty:

Hmotnost OM:	$m_1 = 13\text{kg}$
Hmotnost efektoru:	$m_2 = 12\text{kg}$
Pohyblivá část OU s nosnou hřídelí:	$m_3 = 5,6\text{kg}$
Pohyblivá část OU bez nosné hřídele:	$m_4 = 4,5\text{kg}$
Požadovaná životnost ložisek:	1 mil. hodin



Obr. 34. Rozložení sil na nosné hřídeli

Síla vyvozena efektořem a objektem manipulace:

$$F_{EF,OM} = (m_1 + m_2) \cdot g + Ft_N \quad (21)$$

$$F_{EF,OM} = (13 + 12) \cdot 9,81 + 1,2 = 246,5 N$$

Síla vyvozena pohyblivou částí:

$$F_P = m_4 \cdot g + Ft_N \quad (22)$$

$$F_P = 4,5 \cdot 9,81 + 1,2 = 44,1 N$$

Výpočet radiálních sil působících na ložiska:

$$\sum F = 0 : F_{RA} - F_{EF,OM} - F_P - F_{RB} = 0 \quad (23)$$

$$\sum M_O = 0 : F_{RB} \cdot 0,0545 - F_{RA} \cdot 0,1005 + F_P \cdot 0,218 + F_{EF,OM} \cdot 0,336 = 0 \quad (24)$$

$$0,046 \cdot F_{RA} = 76,6$$

$$F_{RA} = 1665,2 N$$

$$F_{RB} = F_A - F_{EF,OM} - F_P$$

$$F_{RB} = 1665,2 - 246,5 - 44,1$$

$$F_{RB} = 1374,6 N$$

6.3.2 Určení axiálních sil působících na ložiska

$$F_{ax} = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot g + Fn_N \quad (25)$$

$$F_{ax} = (13 + 12 + 5,6) \cdot 9,81 + 1,2 = 300,5 N$$

Jelikož jsou ložiska umístěna za sebou, bude na každé ložisko působit axiální síla poloviční. A to $F_{ax} / 2 = 150,25 \text{ N}$.

6.3.3 Životnost ložiska

Zadané hodnoty:

Ložisko:	A (6008)	B (6207)
Radiální síla:	$F_{RA} = 1,6652 \text{ kN}$	$F_{RB} = 1,3746 \text{ kN}$
Axiální síla:	$F_{ax}/2 = 0,15025 \text{ kN}$	$F_{ax}/2 = 0,15025 \text{ kN}$
Koeficient zatížení:	$X_A = 1$	$X_B = 1$
Koeficient zatížení:	$Y_A = 1,4$	$Y_B = 1,6$
Dynamická únosnost:	$C_A = 17,8 \text{ kN}$	$C_B = 31,2 \text{ kN}$
Kuličkové ložisko:	$m = 3$	$m = 3$

Výpočet mezního zatížení P_A :

$$P_A = X_A \cdot F_{RA} + Y_A \cdot F_{ax}/2 \quad (26)$$

$$P_A = 1 \cdot 1,6652 + 1,4 \cdot 0,15025$$

$$P_A = 1,9 \text{ kN}$$

Výpočet mezního zatížení P_B :

$$P_B = X_B \cdot F_{RB} + Y_B \cdot F_{ax}/2 \quad (27)$$

$$P_B = 1 \cdot 1,3746 + 1,6 \cdot 0,15025$$

$$P_B = 1,6 \text{ kN}$$

Základní trvanlivost L_{10A} :

$$L_{10A} = \left(\frac{C_A}{P_A} \right)^m \quad (28)$$

$$L_{10A} = \left(\frac{17,8}{1,9} \right)^3 = 822 \cdot 10^6 \text{ otáček}$$

Základní trvanlivost L_{10B} :

$$L_{10B} = \left(\frac{C_B}{P_B} \right)^m \quad (29)$$

$$L_{10B} = \left(\frac{31,2}{1,6} \right)^3 = 7415 \cdot 10^6 \text{ otáček}$$

Základní trvanlivost L_{10hA} :

$$L_{10hA} = L_{10A} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_{2r}} \quad (30)$$

$$L_{10hA} = 822 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 8}$$

$$L_{10hA} = 1712500 \text{ hodin} > 1 \text{ mil.}$$

=> vyhovuje

Základní trvanlivost L_{10hB} :

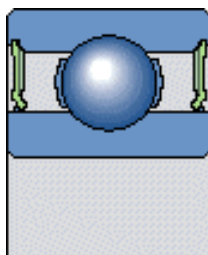
$$L_{10hB} = L_{10B} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_{2r}} \quad (31)$$

$$L_{10hB} = 7415 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 8}$$

$$L_{10hB} = 15447917 \text{ hodin} > 1 \text{ mil.}$$

=> vyhovuje

Obě ložiska jsou pořízena od firmy SKF a opatřena těsněním z nitrilové pryže, aby nevznikl kontakt cizích předmětů (prachu, vody,...) s válivými tělesy ložiska.



Obr. 35. Kuličkové ložisko s těsněním z nitrilové pryže [19]

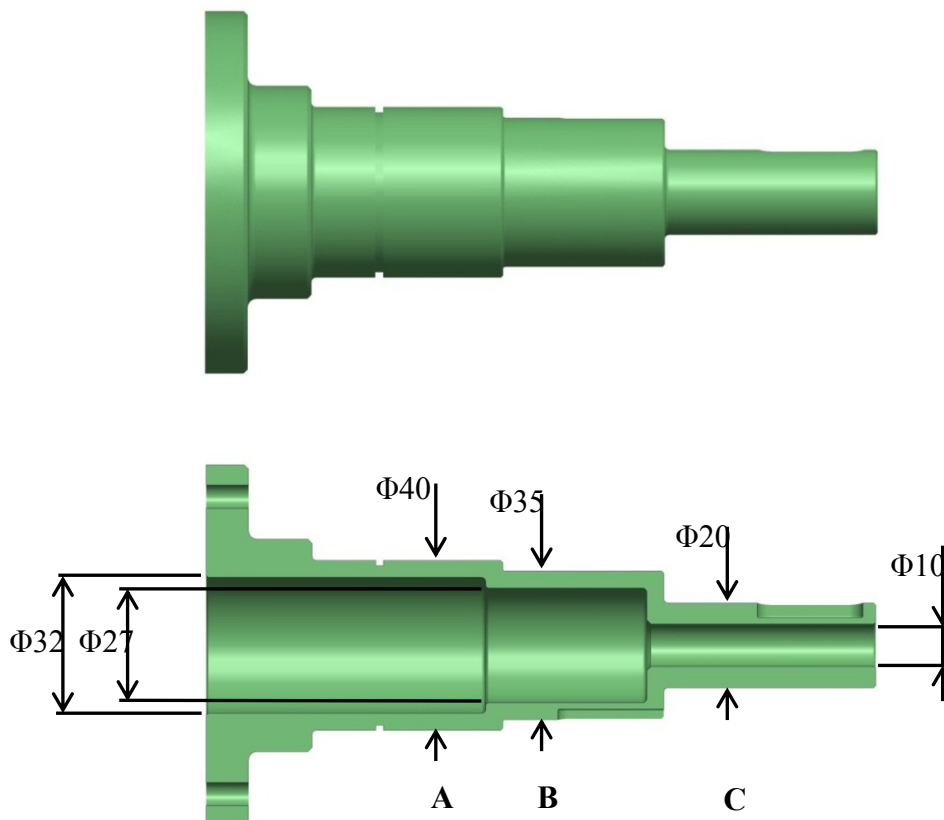
6.4 KONTROLA HŘÍDELÍ

6.4.1 Nosná hřídel

Jedná se o odstupňovanou dutou hřídel z konstrukční oceli 11 500.0.

Dovolené napětí v krutu pro míjivý pohyb $\tau_{DK} = 55 - 85 \text{ MPa}$.

Dovolené napětí v ohybu pro míjivý pohyb $\tau_{DO} = 100 - 150 \text{ MPa}$.



Obr. 36. Nosná hřídel

6.4.2 Kontrola nosné hřídele na krut

Zadané hodnoty:

Průměry na nosné hřídeli:

$$d_1 = 40 \text{ mm}$$

$$d_2 = 35 \text{ mm}$$

$$d_3 = 20 \text{ mm}$$

$$d_4 = 32 \text{ mm}$$

$$d_5 = 27 \text{ mm}$$

$$d_6 = 10 \text{ mm}$$

Krouticí moment při rotaci:

$$Mk2_R + I_{cR} \cdot \varepsilon_R = 44 \text{ Nm}$$

V místě A:

$$W_{KA} = 0,2 \cdot \frac{d_1^4 - d_4^4}{d_1} \quad (32)$$

$$W_{KA} = 0,2 \cdot \frac{40^4 - 32^4}{40} = 7557 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{KA} \geq \frac{(Mk2_R + I_{cR} \cdot \varepsilon_R) \cdot 10^3}{W_{KA}} \quad (34)$$

$$\tau_{KA} \geq \frac{44 \cdot 10^3}{7557} = 5,82 \text{ MPa} < 55 \text{ MPa}$$

=> vyhovuje

V místě B:

$$W_{KB} = 0,2 \cdot \frac{d_2^4 - d_5^4}{d_2} \quad (33)$$

$$W_{KB} = 0,2 \cdot \frac{35^4 - 27^4}{35} = 5538 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{KB} \geq \frac{(Mk2_R + I_{cR} \cdot \varepsilon_R) \cdot 10^3}{W_{KB}} \quad (35)$$

$$\tau_{KB} \geq \frac{44 \cdot 10^3}{5538} = 7,95 \text{ MPa} < 55 \text{ MPa}$$

=> vyhovuje

V místě C:

$$W_{KC} = 0,2 \cdot \frac{d_3^4 - d_6^4}{d_3} \quad (36)$$

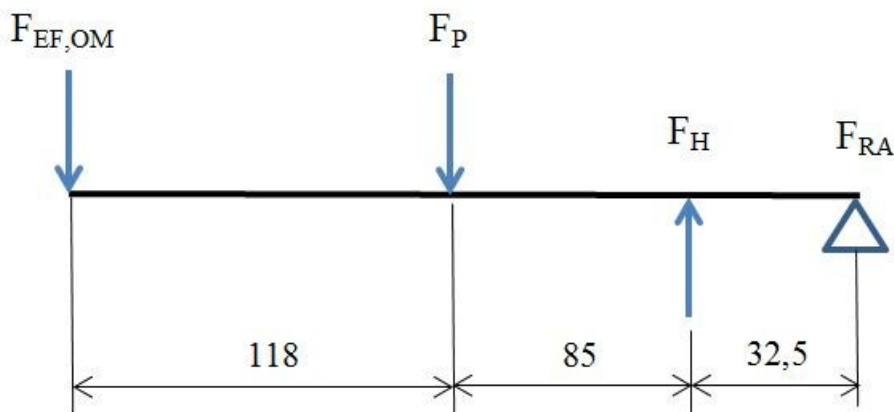
$$W_{KC} = 0,2 \cdot \frac{20^4 - 10^4}{20} = 1500 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{KC} \geq \frac{(Mk2_R + I_{cR} \cdot \varepsilon_R) \cdot 10^3}{W_{KC}} \quad (37)$$

$$\tau_{KC} \geq \frac{44 \cdot 10^3}{1500} = 29,33 \text{ MPa} < 55 \text{ MPa}$$

=> vyhovuje

6.4.3 Kontrola nosné hřídele na ohyb



Obr. 37. Rozložení sil na nosné hřídeli

$$\sum F = 0 : F_H - F_{EF,OM} - F_P = 0 \quad (38)$$

$$F_H - 246,5 - 44,1 = 0$$

$$F_H = 290,6N \text{ (síla působící na nosnou hřídel)}$$

$$W_o = 0,1 \cdot \frac{d_1^4 - d_4^4}{d_1} \quad (39)$$

$$W_o = 0,1 \cdot \frac{40^4 - 32^4}{40} = 3598,6 \text{ mm}^3$$

$$\tau_o \geq \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_H \cdot 32,5}{W_o} \quad (40)$$

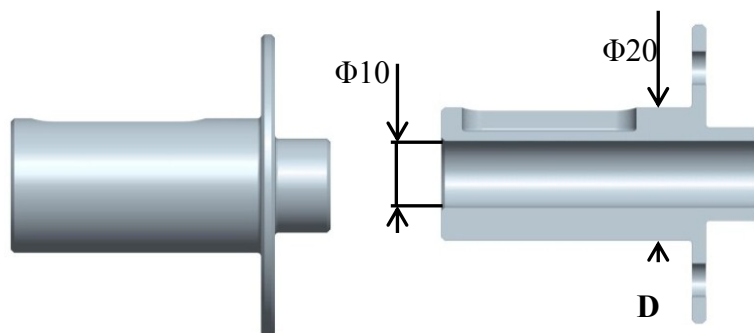
$$\tau_o \geq \frac{290,6 \cdot 32,5}{3598,6} = 2,6 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa}$$

=> vyhovuje

6.4.4 Propojovací hřídel v rotační pohonné jednotce

Jedná se o hřídel připojenou na převodovku, na kterou je umístěna jedna část spojky, z konstrukční oceli 11 500.0.

Dovolené napětí v krutu pro míjivý pohyb $\tau_{DK} = 55 - 85 \text{ MPa}$



Obr. 38. Propojovací hřídel a řez propojovací hřídele

6.4.5 Kontrola propojovací hřídele na krut

Zadané hodnoty:

Průměry na propojovací hřídeli:

$$d_7 = 22 \text{ mm}$$

$$d_8 = 10 \text{ mm}$$

Krouticí moment při rotaci:

$$Mk_{2R} + I_{cR} \cdot \varepsilon_R = 44 \text{ Nm}$$

V místě D:

$$W_{KD} = 0,2 \cdot \frac{d_7^4 - d_8^4}{d_7} \quad (41)$$

$$W_{KD} = 0,2 \cdot \frac{20^4 - 10^4}{20} = 1500 \text{ mm}^3$$

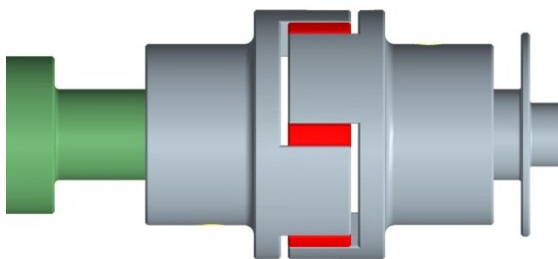
$$\tau_{KD} \geq \frac{(Mk_{2R} + I_{cR} \cdot \varepsilon_R) \cdot 10^3}{W_{KD}} \quad (42)$$

$$\tau_{KD} \geq \frac{44 \cdot 10^3}{1500} = 29,33 \text{ MPa} < 55 \text{ MPa}$$

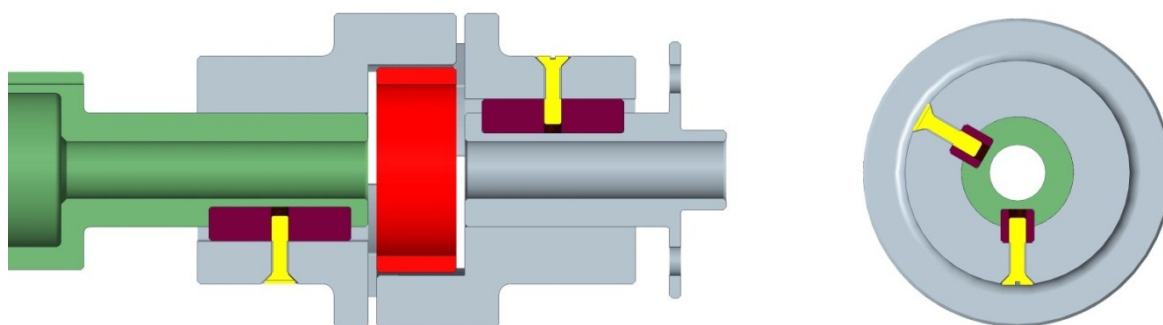
=> **vyhovuje**

6.5 KONTROLA SPOJE POMOCÍ PERA

Kontrolují se pera, která zajišťují spojení nosné hřídele a spojky GE-T a propojovací hřídele a spojky GE-T. Hřídele mají stejné průměry a jsou použity stejné pera. Výpočet tedy bude proveden pro jednu hřídel.



Obr. 39. Spojka GE-T mezi nosnou a propojovací hřídelí



Obr. 40. Řezy spojkou GE-T

Jsou použita pera 6x6x25 ČSN 02 2562

Zadané hodnoty:

Krouticí moment při rotaci:	$M_{k2R} + I_{cR} \cdot \varepsilon_R = 44 \text{ Nm}$
Dovolená tlak při otláčení hřídele:	$P_{D1} = 120 \text{ MPa}$
Dovolená tlak při otláčení náboje:	$P_{D2} = 45 \text{ MPa}$
Průměr nosné hřídele:	$d_3 = 20 \text{ mm}$
Délka pera:	$l_p = 25 \text{ mm}$
Šířka pera:	$b = 6 \text{ mm}$
Hloubka drážky pro pero v hřídeli:	$t_1 = 2,5 \text{ mm}$
Hloubka drážky pro pero v náboji:	$t = 3,5 \text{ mm}$

6.5.1 Otláčení hřídele

$$P_1 \leq P_{D1} \quad (43)$$

$$\frac{F_1}{l_p \cdot t} \leq P_{D1} \quad (44)$$

$$F_1 = \frac{(M_{k2R} + I_{cR} \cdot \varepsilon_R)}{\frac{d_3}{2} + \frac{t}{2}} \quad (45)$$

$$F_1 = \frac{44000}{\frac{20}{2} - \frac{3,5}{2}} = 5333 \text{ N jsou použita 2 pera} \rightarrow F_1 \text{ tedy bude poloviční} \Rightarrow$$

$$F_1 = 2666,5 \text{ N}$$

$$P_1 \leq \frac{2666,5}{25 \cdot 3,5} = 30,5 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa}$$

=> vyhovuje

6.5.2 Otláčení náboje

$$P_2 \leq P_{D2} \quad (46)$$

$$\frac{F_2}{l' \cdot t_1} \leq P_{D2} \quad (47)$$

$$F_2 = \frac{(Mk2_R + I_{CR} \cdot \varepsilon_R)}{\frac{d_3}{2} + \frac{t_1}{2}} \quad (48)$$

$$F_2 = \frac{44000}{\frac{20}{2} + \frac{2,5}{2}} = 3911 \text{ N jsou použita 2 pera} \rightarrow F_2 \text{ tedy bude poloviční} \Rightarrow$$

$$F_2 = 1955,5 \text{ N}$$

$$l' = l_p - b \quad (49)$$

$$l' = 25 - 6 = 19 \text{ mm}$$

$$P_2 \leq \frac{1955,5}{19 \cdot 2,5} = 41,2 \text{ MPa} < 45 \text{ MPa}$$

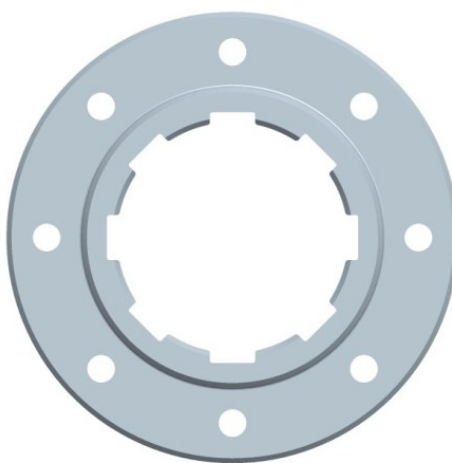
=> vyhovuje

6.6 KONTROLA DRÁŽKOVÉHO SPOJE

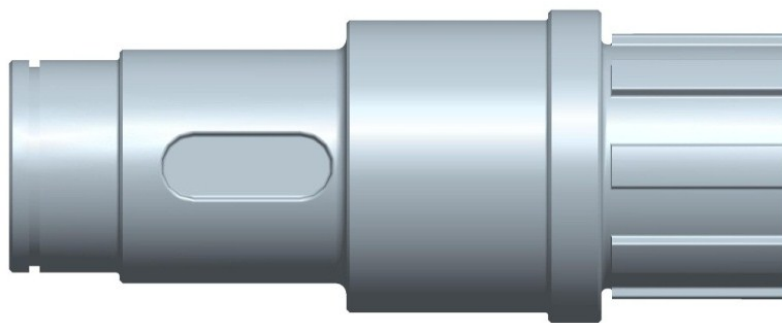
Drážkový spoj je využit k propojení ramene robotu s orientačním ústrojím. Je využito rovnobokého drážkování.

Zadané hodnoty:

Malý průměr drážkového spoje:	$d_9 = 46 \text{ mm}$
Velký průměr drážkového spoje:	$D_1 = 50 \text{ mm}$
Počet zubů v drážkovém spoji:	$z = 8$
Sražení hran zubů drážkového spoje:	$f = 0,3 \text{ mm}$
Délka drážkového spoje:	$l_D = 33 \text{ mm}$
Krouticí moment OÚ vůči rameni robota:	$MK_3 = 129 \text{ Nm}$
Dovolený tlak při otláčení náboje i hřídele:	$P_{D3} = 60 \text{ MPa}$



Obr. 41. Drážkový náboj



Obr. 42. Drážkový hřídel

6.6.1 Otláčení boků zubů na hřídeli a rovněž v náboji

$$P_3 \leq P_{D3} \quad (50)$$

$$\frac{F_3}{f' \cdot l_D} \leq P_{D3} \quad (51)$$

$$F_3 = \frac{4 \cdot Mk_3}{D_1 + d_9} \quad (52)$$

$$F_3 = \frac{4 \cdot 129000}{50 + 46} = 5375 \text{ N}$$

$$f' = \frac{3}{4} \cdot z \cdot \left(\frac{D_1 - d_9}{2} - 2 \cdot f \right) \cdot 1 \quad (53)$$

$$f' = \frac{3}{4} \cdot 8 \cdot \left(\frac{50 - 46}{2} - 2 \cdot 0,3 \right) \cdot 1 = 8,4$$

$$P_3 = \frac{5375}{8,4 \cdot 33} = 19,4 \text{ MPa} < 60 \text{ MPa}$$

=> vyhovuje

7. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

Bakalářská práce se zabývá návrhem orientačního ústrojí na již navržený efektor, jehož účelem je manipulace s nebezpečnými předměty.

V první řadě byla provedena analýza současných technologií pro manipulaci s nebezpečnými předměty a různých pyrotechnických robotů, které se nacházejí na světovém trhu. Následně byly zvoleny jednotlivé varianty řešení, které by splňovaly zadané požadavky.

Pro zhotovení konečného návrhu, byly nejprve vytvořeny jednoduché modely jednotlivých variant řešení, které byly na základě zvolených společných kritérií posouzeny mezi sebou. Jako nástroj pro získání nejvhodnější varianty byla zvolena hodnotová analýza metody porovnání v trojúhelníkovém páru. Touto variantou splňuje zadané podmínky verze orientačního ústrojí bez ozubených soukolí, která následně byla propočtena, jak ručními výpočty, tak i softwarovými a to v programu Pro ENGINEER. Komponenty s již přesnými rozměry byly vymodelovány a rovněž sestaveny v celkový model v programu Pro ENGINEER. Výkresová dokumentace byla vytvořena v programu AutoCAD.

Výsledné orientační ústrojí má dva stupně volnosti a dovoluje pohyb manipulovatelného předmětu v ose $Y \pm 180^\circ$ a v ose $X 0^\circ$ a $+180^\circ$ dle Kartézského souřadnicového systému. Počet otáček při rotaci je 8 ot/min a při naklápění 6 ot/min. Nosnost orientačního ústrojí je konstruována na 25 kg. Využitím zadaných čelistí o váze 12 kg lze manipulovat s předměty do hmotnosti 13 kg.

Pro další postup by bylo vhodné zaměřit se na řídicí systém a samotné řízení, které v této práci nebylo řešeno. Využitím jiného připojení ramene robotu s orientačním ústrojím tak, aby nebyl spoj proveden pouze z jedné strany, by propojení získalo lepších vlastností.

8. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VÁVRA, Pavel; LEINVEBER, Jan. *Strojírenské tabulky. 1. vyd.* Praha: Albra, 2003. 865s. ISBN 80-86490-74-2.
- [2] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory.* Ostrava: VŠB v Ostravě, 2007. 260s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [3] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace.* Ostrava: VŠB v Ostravě, 2004. 86s. ISBN 80-248-0514-6.
- [4] KLETEČKA, Jaroslav; FOŘT, Petr. *Technické kreslení. 2. opravné vyd.* Brno: Computer Press, 2007. 252s. ISBN 978-80-251-1887-0.
- [5] LIPINA, Jan. *Návrh efektoru pro manipulaci s nebezpečnými předměty.* Ostrava, 2008. 63 s. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava, FS, Katedra Robototechniky.
- [6] Army.cz [online]. 2004 [cit. 2011-05-05]. *Robot EOD tEODor.* Dostupné z WWW: <<http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=6343>>.
- [7] Army-technology.com [online]. 1997 [cit. 2011-05-05]. *Telerob - EOD / IEDD Equipment, EOD Robots and Vehicles.* Dostupné z WWW: <<http://www.army-technology.com/contractors/mines/telerob/telerob3.html>>.
- [8] Antiterrorism.eu [online]. 1999 [cit. 2011-05-05]. *IBIS - Pyrotechnical and Combat Robot.* Dostupné z WWW: <http://www.antiterrorism.eu/combat_robot.php>.
- [9] Irobot.com [online]. 2010 [cit. 2011-05-05]. *Irobot - Pyrotechnical Robot.* Dostupné z WWW: <http://www.irobot.com/gi/ground/510_PackBot/>.
- [10] Defense-update.com [online]. 2004 [cit. 2011-05-05]. *Dragon Runner.* Dostupné z WWW: <http://defense-update.com/products/d/dragonrunner_271108.html>.
- [11] Globalsecurity.org [online]. 2000 [cit. 2011-05-05]. *Military.* Dostupné z WWW: <<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/talon.htm>>.
- [12] Zpravy.idnes.cz [online]. 1999 [cit. 2011-05-05]. *Armáda přikoupí roboty pyrotechniky.* Dostupné z WWW: <http://zpravy.idnes.cz/armada-prikoupi-roboty-pyrotechniky-dsh-/zpr_nato.asp?c=A050721_091758_zpr_nato_inc>.
- [13] Armybase.us [online]. 1010 [cit. 2011-05-05]. *Armybase - Talon.* Dostupné z WWW: <<http://www.armybase.us/2008/12/qinetiq-north-america-unveils-route-clearance-robot-to-detect-mines-and-ieds/>>.

- [14] Defense-update.com [online]. 2004 [cit. 2011-05-05]. *Dragon Runner*. Dostupné z WWW: <http://defense-update.com/products/d/dragonrunner_271108.html>.
- [15] Electronics.howstuffworks.com [online]. 1998 [cit. 2011-05-05]. *HowStuffWorks "Police Robot Control"*. Dostupné z WWW: <<http://electronics.howstuffworks.com/police-robot1.htm>>.
- [16] Gizmowatch.com [online]. 2005 [cit. 2011-05-05]. *Dragon Runner, The Bomb-disposal*. Dostupné z WWW: <<http://www.gizmowatch.com/entry/dragon-runner-the-bomb-disposal-robot-is-out-in-britain/>>.
- [17] Harmonická převodovka. 2010 [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <www.harmonicdrive.de>.
- [18] Rotační pohon. 2010 [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <www.maxonmotor.com>.
- [19] Kuličkové ložisko. 2010 [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <www.skf.com>.

9. SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkresová dokumentace:

- Sestavný výkres SB034-BP-01
- Kusovník SB034-BP-01-K
- Výrobní výkres SB034-BP-11

2. Přiložené katalogy:

- Motor EC 90 flat 346970
- Brzda Kendrion MP_LINE 86 611
- Spojka GE-T
- Spojka WKAS

3. CD-ROM:

- Model optimální varianty v programu PRO ENGINEER
- Modely 3 variant v programu PRO ENGINEER
- Výkresová dokumentace
- Katalogy
- Použité obrázky